

FERNANDO PALHA LEITE

**RELAÇÕES NUTRICIONAIS E ALTERAÇÕES  
DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLOS  
DA REGIÃO DO VALE DO RIO DOCE  
PELO CULTIVO DO EUCALIPTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2001

*Às pessoas que passam por nossa vida  
e deixam saudades.*

## AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização de meus cursos de Graduação, Aperfeiçoamento, Mestrado e Doutorado.

À cidade de Viçosa, por ter me recebido durante esse período.

À CENIBRA S.A., pelo irrestrito apoio concedido para a realização deste trabalho.

A todas as pessoas que contribuíram para a condução deste trabalho, entre elas Alex, Antônio Roberto, Rinaldo, Jackeline e Felipe.

Aos professores Roberto Ferreira de Novais, Nairam Félix de Barros, João Carlos Ker e Júlio César Lima Neves, os quais, além dos ensinamentos acadêmicos, também me ensinaram vários outros valores não menos importantes para minha formação.

Ao amigo Antônio Sérgio Fabres.

## BIOGRAFIA

FERNANDO PALHA LEITE, filho de Ery de Souza Leite e Mirian Palha Leite, nasceu em Coronel Fabriciano-MG, em 7 de novembro de 1967.

Em Ipatinga-MG, estudou no Colégio São Francisco Xavier; graduou-se em Agronomia em janeiro de 1991 pela Universidade Federal de Viçosa (UFV); nos anos de 1991 e 1992, desenvolveu atividade em Aperfeiçoamento de Pesquisa, na área de Solos Florestais, no Departamento de Solos da UFV. Nesta mesma universidade, realizou os cursos de Mestrado (1993 a 1995) e Doutorado (1996 a 2001) em Solos e Nutrição de Plantas.

## ÍNDICE

	PÁGINA
RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	ix
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
<b>CAPÍTULO 1</b>	
RELAÇÕES NUTRICIONAIS, AO LONGO DE UM CICLO DE CULTIVO, DE EUCALIPTO EM DIFERENTES DENSIDADES POPULACIONAIS .....	3
RESUMO .....	3
INTRODUÇÃO .....	5
MATERIAL E MÉTODOS .....	7
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	10
Concentração de nutrientes .....	10
Conteúdo de nutrientes .....	17
Coefficiente de utilização de nutrientes .....	21
Relação entre nutrientes .....	24
Alocação de nutrientes .....	26
Nutriente no solo .....	28
CONCLUSÕES .....	29
LITERATURA CITADA .....	30

## **CAPÍTULO 2**

ALTERAÇÕES DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLOS DA REGIÃO DO VALE DO RIO DOCE PELO CULTIVO DE EUCALIPTO.....	35
RESUMO .....	35
INTRODUÇÃO .....	36
MATERIAL E MÉTODOS .....	40
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	41
CONCLUSÕES .....	62
LITERATURA CITADA .....	63
APÊNDICE .....	68

## RESUMO

LEITE, Fernando Palha, D.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2001. **Relações nutricionais e alterações de características químicas de solos da região do Vale do Rio Doce pelo cultivo do eucalipto.** Orientador: Roberto Ferreira de Novais. Conselheiros: Nairam Félix de Barros e João Carlos Ker.

Em trabalhos conduzidos na região do Vale do Rio Doce-MG, avaliaram-se algumas relações nutricionais, ao longo de um ciclo de cultivo, de eucalipto cultivado em diferentes densidades populacionais, bem como as alterações de características químicas de solos causadas pelo cultivo de eucalipto. A avaliação das relações nutricionais mostrou que: a dinâmica da demanda do eucalipto por Ca foi semelhante à de Mg, a de P foi semelhante à de K e a de N foi diferente da observada para esses nutrientes; a serapilheira constitui o principal reservatório de N, P, Ca e Mg ao final do ciclo de cultivo; o prolongamento da idade de corte pode ser utilizado no controle da quantidade de P, K, Ca e Mg exportada do sistema por unidade de madeira colhida; e o tempo de 6,75 anos não foi suficiente para que as quantidades de nutrientes absorvidas pelo eucalipto por unidade de área, em diferentes densidades populacionais, se iguallassem. Na avaliação das modificações de características químicas de

solos pelo eucalipto, constatou-se que: do modo como foi manejado, o eucalipto levou a alterações em características do solo, ocorrendo redução nos teores de alguns nutrientes e aumento de  $Al^{3+}$ ; o diagnóstico das alterações de formas menos disponíveis de K, Ca e Mg, extraídas com  $HNO_3$ , foi semelhante ao realizado para as formas trocáveis desses elementos; e as formas orgânicas de P foram mais sensíveis em diferenciar efeitos de uso, de local e de potencial produtivo dos solos que as inorgânicas. Portanto, para preservação e melhoria de características químicas dos solos cultivados com eucalipto nessa região, o controle dos fluxos de nutrientes por meio da fertilização e de manejo de resíduos é imprescindível.



## ABSTRACT

LEITE, Fernando Palha, D.S., Universidade Federal de Viçosa, February 2001. **Nutritional relationships and chemical characteristics alterations in soils of the Rio Doce Valley caused by eucalyptus cultivation.** Adviser: Roberto Ferreira de Novais. Committee Members: Nairam Félix de Barros and João Carlos Ker.

This work was carried out in the Rio Doce Valley region to evaluate some nutritional relationships over a long eucalyptus cultivation cycle, in different population densities, as well as alterations caused in the soil chemical characteristics due to eucalyptus cultivation. The evaluation of the nutritional relationships showed that: the demand for Ca by the eucalyptus plants was similar to the Mg demand; P demand was similar to K and N demand was different from these nutrients. The litter layer constitutes the main N, P, Ca and Mg reserve at the end of the cultivation cycle; extending the cutting age can be used to control the amounts of P, K, Ca and Mg exported per unit of harvested wood; and that the 6.75 year period was not sufficient to equal the nutrient uptake per unit of area by the different population densities. The evaluation of the alterations in the chemical characteristics of the soils using the eucalyptus cultivation revealed that: due to the management practices used, the eucalyptus

caused chemical alterations in the soil, reducing the levels of some nutrients and increasing the  $Al^{3+}$  level; the diagnosis of the alterations in the less available K, Ca and Mg forms, extracted with  $HNO_3$ , was similar to that obtained for the exchangeable forms of these elements; the organic P forms were more sensitive to differentiate the effects of soil use, location and productive potential than the mineral P forms. Therefore, the control of nutrient fluxes through fertilization and residue management is essential for the preservation and improvement of the chemical characteristics of the soils cultivated with eucalyptus in the studied region.

## INTRODUÇÃO GERAL

Plantios de eucalipto realizados a partir da década de 60, estimulados, principalmente, pela concessão de incentivos fiscais, podem ser considerados como marco do início do cultivo em larga escala desta cultura no Brasil. Apesar de, na maioria dos casos, pouca tecnologia ter sido utilizada na condução desses plantios, as produtividades obtidas em áreas recém-implantadas alcançaram níveis elevados.

Ao longo desse curto período de cultivo do eucalipto em larga escala nas condições edafoclimáticas brasileiras, vários questionamentos têm sido feitos a respeito da sustentabilidade do processo de produção adotado, no qual são cultivados, em ciclos curtos, materiais de elevado potencial produtivo em solos de baixa fertilidade natural.

Como forma de contribuir para a expressão do elevado potencial produtivo dos materiais genéticos atualmente utilizados, principalmente em áreas onde já foram realizados cultivos sucessivos, é necessária a adoção de técnicas de manejo nutricional que consigam compatibilizar a disponibilidade de nutrientes com a demanda nutricional desses materiais. Para isso, são necessárias informações a respeito do comportamento nutricional dos materiais cultivados e, também, das alterações causadas em características dos solos cultivados com essa essência.

Este trabalho teve como objetivo avaliar, ao longo de um ciclo de cultivo de *E. grandis*, em diferentes densidades populacionais, relações nutricionais importantes no manejo nutricional do eucalipto, bem como o efeito de seu cultivo sucessivo em características edáficas relacionadas à fertilidade de solos da região do Vale do Rio Doce-MG.

## CAPÍTULO 1

### **RELAÇÕES NUTRICIONAIS, AO LONGO DE UM CICLO DE CULTIVO, DE EUCALIPTO EM DIFERENTES DENSIDADES POPULACIONAIS**

#### RESUMO

Para compatibilizar a disponibilidade de nutrientes no sistema e a demanda do eucalipto ao longo de seu ciclo de cultivo, é necessário que os fluxos de nutrientes nesse sistema sejam bem entendidos. Para isso, são imprescindíveis informações a respeito da dinâmica nutricional em plantas de eucalipto ao longo de seu ciclo de cultivo, do impacto de acúmulo e da exportação de nutrientes na biomassa sobre o estoque de nutrientes no solo e do efeito de algumas práticas de manejo sobre esses fluxos, como o da densidade populacional (DP) de plantas. Em experimento realizado no município de Santa Bárbara-MG, avaliaram-se, ao longo de um ciclo de cultivo, algumas relações nutricionais em plantas de *Eucalyptus grandis* cultivadas em diferentes densidades populacionais (DP). As avaliações foram feitas em quatro épocas, nas quais a floresta encontrava-se nas idades de 0,25, 2,5, 4,5 e 6,75 anos, cultivada em sete densidades populacionais, de 500 a 5.000 plantas por hectare. Essas avaliações consistiram da análise química de amostras de tecidos vegetais dos

componentes da parte aérea de uma árvore média de cada parcela, da serapilheira e do folheto. Caracterizações da fertilidade do solo foram realizadas em amostras de cada parcela. Estimaram-se os conteúdos, a eficiência de utilização, as relações e a alocação de nutrientes nos diversos componentes da biomassa. Com o envelhecimento da floresta, houve redução nas concentrações de P, K, Ca e Mg dos componentes da parte aérea e da serapilheira. A intensidade da ciclagem bioquímica de nutrientes nos tecidos foliares obedeceu à seguinte seqüência:  $P > K > N > Mg$ . A dinâmica da demanda por nutrientes ao longo do ciclo foi diferenciada entre estes nutrientes, indicando que as épocas das adubações para alguns nutrientes também devem ser diferentes. As relações entre os conteúdos de formas trocáveis K/Ca, K/Mg e Ca/Mg no solo diferiram muito das relações com que esses nutrientes foram imobilizados na biomassa produzida, assim como das relações entre as quantidades exportadas do sistema pelo tronco. Ao final do ciclo, a maior quantidade de N, P, Ca e Mg imobilizada entre os componentes da biomassa encontrava-se na serapilheira. Ao longo do ciclo ocorreram reduções nas quantidades disponíveis de Ca, Mg e P, na matéria orgânica e no pH do solo, e aumento na concentração de Al trocável. Constatou-se que o cultivo do eucalipto por 6,75 anos não foi suficiente para que as quantidades de nutrientes nas plantas, por unidade de área, se igualassem entre os cultivos nas diferentes densidades populacionais. Até essa idade, ainda ocorreu relação linear entre o acúmulo de K, Ca e Mg e a DP, bem como relação quadrática entre o acúmulo de N e P e a DP. Alterações na DP não interferiram na eficiência de uso de N, P, K, Ca e Mg pelo tronco (lenho e casca) na idade de corte da floresta (6,75 anos).

## INTRODUÇÃO

A maioria das florestas de eucalipto no Brasil é cultivada em solos de baixa fertilidade, o que leva com frequência à limitação do crescimento, em razão do suprimento insuficiente de nutrientes (Barros et al., 1990a; Althoff et al., 1991; Galo, 1993; Stape & Benedetti, 1997; Scatolini et al., 1997; Gava, 1997; Leite et al., 1998). À medida que são feitos cultivos com materiais de elevada produtividade, esse problema tende a se intensificar, dada a estreita relação entre produtividade e conteúdo de nutrientes na biomassa (Miller, 1984; Khanna & Ulrich, 1984; Herbert & Robertson, 1991; Novais & Barros, 1997). Assim, o conhecimento do comportamento, ao longo do ciclo de cultivo, de algumas relações nutricionais em plantas de eucalipto é condição determinante para a implementação de formas de manejo nutricional que garantam que limitações nutricionais não comprometam a sustentabilidade da produção desta cultura.

A demanda por água, luz, CO<sub>2</sub> e nutrientes minerais (fatores de produção vegetal) é determinada pelo ritmo de crescimento e desenvolvimento das plantas. Portanto, as taxas de demanda por nutrientes acompanham a taxa de formação dos tecidos, devendo ser considerada no manejo nutricional do eucalipto. Sendo a taxa de formação de tecidos determinada pelo potencial genético e pela disponibilidade dos fatores de produção, as taxas de demanda por nutrientes podem ser controladas, indiretamente, pela disponibilidade de outros fatores de produção. Por exemplo, quando a disponibilidade de água reduz, há redirecionamento de fotoassimilados para o sistema radicular, em detrimento de outros componentes da planta (Dickson, 1991; Grove et al., 1996; Binkley et al., 1997; Landsberg & Waring, 1997).

Além do ritmo de crescimento e da disponibilidade dos demais fatores de produção, a demanda por nutrientes também é determinada pela eficiência com que estes são utilizados. Sabe-se, por exemplo, que a

eficiência de utilização de nutrientes, em geral, aumenta com a idade da floresta, em virtude do aumento na proporção de lenho (componente com baixa concentração em nutrientes) e da redução da proporção de casca, galhos e folhas na biomassa total com o envelhecimento das árvores (Miller, 1984; Pereira, 1990). Além da alteração na proporção dos componentes da biomassa, com diferentes concentrações de nutrientes, também ocorrem modificações no acúmulo de nutrientes em diferentes tecidos. O teor de nutrientes no tronco decresce com a idade das árvores, em decorrência da ciclagem interna que acontece durante a transformação de alburno em cerne, com o envelhecimento das árvores (Reis & Barros, 1990).

Portanto, estádios distintos no crescimento da floresta se refletem em mudanças em processos que contribuem para o controle da demanda por nutrientes, seu armazenamento e sua distribuição em plantas de eucalipto. Inicialmente, a formação da copa (folhas e galhos), com elevada concentração de nutrientes, contribui para a maior proporção da produtividade líquida da floresta. Nesse período, a redistribuição de nutrientes associada à senescência foliar é pequena, ocorrendo a absorção de grande quantidade de nutrientes do solo. Esse estágio é caracterizado por aumentos nas taxas de acúmulo de nutrientes, com seu máximo ocorrendo durante o fechamento das copas (Attiwill, 1981; Miller, 1984; Grove et al., 1996), período em que o crescimento pode ser restringido pelo limitado suprimento de nutrientes do solo, em razão da elevada demanda e do pequeno volume de raízes. Após o fechamento da copa, acontece o segundo estágio, no qual a biomassa foliar é estável ou ligeiramente decrescente e o cerne contribui com a maior parte da produtividade primária líquida. Como o conteúdo de nutrientes no cerne é baixo, a taxa de acúmulo de nutrientes na árvore decresce. Durante esse período, ocorre a máxima exploração do solo pelas raízes finas e os processos de ciclagem estão em pleno funcionamento. No terceiro estágio de crescimento da árvore, a maior parte da produtividade primária líquida está associada à manutenção da biomassa produzida (Miller, 1984; Grove et al., 1996).



A maioria dos trabalhos sobre dinâmica de absorção de nutrientes e de outras relações nutricionais em povoamentos de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento foi realizada utilizando povoamentos plantados em épocas diferentes e, geralmente, em locais diferentes (Bellote et al., 1980; Pereira et al., 1984; Reis et al., 1987). Esse fato reduz a confiabilidade dos resultados, uma vez que o efeito das características do local sobre relações nutricionais muitas vezes é mais significativo do que o da idade das árvores (Judd et al., 1996).

A densidade populacional (DP), ao modificar a disponibilidade de fatores de produção (Leite, 1996), deve afetar a dinâmica nutricional ao longo do ciclo de crescimento da floresta, determinando formas diferenciadas de manejo para o controle da disponibilidade de nutrientes.

Normalmente, o aumento da DP leva, numa fase inicial, a uma maior produção de biomassa e, por conseguinte, à exportação de maior quantidade de nutrientes (Reis & Barros, 1990; Bernardo, 1995; Leles, 1995; Leite, 1996; Ladeira, 1998). Em maiores DPs, a capacidade produtiva do sítio é atingida mais cedo, sem que o balanço de nutrientes no sistema alcance um equilíbrio (Reis & Barros, 1990). Contudo, em menores DPs, logo que as plantas ocupam o espaço disponível, há tendência de as quantidades de biomassa e de nutrientes se igualarem às da densidade maior (Miller, 1995).

O objetivo deste trabalho foi avaliar, ao longo do ciclo de cultivo de plantas de *E. grandis*, em diferentes densidades populacionais, relações nutricionais importantes para o manejo nutricional do eucalipto.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido em área experimental da CENIBRA S.A., no município de Santa Bárbara-MG, cujo solo é um Latossolo Vermelho-Amarelo álico textura franco-argilo-arenosa. O clima da região, pela classificação de Köppen, é do tipo Cwa, temperado chuvoso-mesotérmico. *Eucalyptus grandis* (procedência Coff's Harbour), plantado

em dezembro de 1991, foi cultivado em várias densidades populacionais (DP). Durante o ciclo de cultivo foram realizadas as adubações: 100 g por planta de NPK 5-25-10, aplicados na cova de plantio das mudas, e mais 167 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 15-05-15 aos 12 e aos 24 meses após o plantio.

As DPs utilizadas foram: 500, 625, 833, 1.250, 1.666, 2.500 e 5.000 plantas por hectare, correspondendo, respectivamente, aos espaçamentos de 4 x 5, 4 x 4, 4 x 3, 4 x 2, 3 x 2, 2 x 2 e 2 x 1 m. Os tratamentos foram distribuídos em blocos ao acaso e repetidos três vezes. Cada parcela tinha área total de 500 m<sup>2</sup>.

Em cada parcela, quantificou-se, em quatro épocas (dezembro de 1991, julho de 1994 e de 1996 e setembro de 1998), a biomassa dos componentes da parte aérea, utilizando-se uma árvore com diâmetro e altura próximos da média da população. A árvore média foi abatida, seus componentes pesados e amostrados para a determinação do peso da matéria seca e das concentrações de N, P, K, Ca e Mg. Nas amostras coletadas nos anos de 1996 e 1998, determinaram-se, também, as concentrações de Zn, Fe, Mn, Cu e B. A serapilheira foi quantificada em três épocas, a partir de cinco amostras simples obtidas com gabarito de 0,16 m<sup>2</sup> em cada parcela. Nas parcelas referentes às DPs de 500, 833, 1.666 e 5.000 plantas ha<sup>-1</sup>, foi também feita a análise de P, K, Ca e Mg no material depositado em coletores de folheto (três coletores de 0,72 m<sup>2</sup> foram instalados próximos à árvore média de cada parcela), avaliados a cada dois meses, durante um ano, a partir de julho de 1994 e de julho de 1996. Desse material, coletaram-se duas amostras, uma do folheto (folhas, galhos, casca e frutos) e outra somente das folhas contidas no folheto, determinando-se as concentrações de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn, Cu e B. Em julho de 1996, as parcelas referentes às DPs de 500, 833, 1.666 e 5.000 plantas por hectare receberam 12 sacolas com material para decomposição, confeccionadas com sombrite (de 50% de transparência) e com uma superfície de contato com o solo de 0,075 m<sup>2</sup>, contendo 70,0 g de material de serapilheira das respectivas parcelas. A cada dois meses foram coletadas duas sacolas de cada parcela, o

material em decomposição foi pesado e amostrado para a determinação de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn, Cu e B. As amostras de tecido vegetal da biomassa da parte aérea das árvores, da serapilheira, do folheto e das folhas contidas no folheto foram secas em estufa com ventilação forçada até peso constante, moídas e mineralizadas. Nos extratos da digestão nítrico-perclórica, P foi determinado pelo método do ácido ascórbico, modificado por Braga & Defelipo (1974); K, por fotometria de emissão de chama; e Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e Cu, por espectrofotometria de absorção atômica. A determinação de N foi feita pelo método de Kjeldahl, após mineralização do material com ácido sulfúrico e aquecimento (Nelson & Sommers, 1973). A determinação de B foi feita por colorimetria, utilizando a curcumina como indicador, após a mineralização das amostras por calcinação e dissolução em HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> (Vitti et al., 1997).

De cada parcela, foi obtida uma amostra composta de solo a partir de cinco amostras simples, retiradas nas profundidades de 0 a 5 e de 5 a 10 cm; em 1996 e 1998 também foram coletadas amostras da camada de 10 a 30 cm. Nessas amostras, determinaram-se pH em água, Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; K, P, Zn, Fe, Mn e Cu, pelo extrator Mehlich-1; B, em água quente; H + Al, com NH<sub>4</sub>OAC 1 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0; e carbono orgânico, por oxidação da matéria orgânica pelo método de Walkley-Black (Empresa... - EMBRAPA, 1979).

Foram calculados o conteúdo de nutrientes, o coeficiente de utilização biológico (matéria seca por conteúdo de nutrientes no componente da árvore avaliado) e relações entre conteúdos de macronutrientes nos tecidos e em camadas do solo.

Foram ajustadas equações de regressão para descrever as relações entre o conteúdo de nutrientes e a DP e a idade da floresta. Os modelos foram selecionados com base na significância dos coeficientes das equações e nos valores de coeficiente de determinação ajustados. Os efeitos das DPs e da idade sobre a concentração e relação entre nutrientes foram avaliados por meio de análise de variância.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Concentração de nutrientes

O efeito da densidade populacional nas concentrações foliares de nutrientes, considerando-se na análise estatística somente as informações obtidas na floresta com idades de 2,5, 4,5 e 6,75 anos, foi significativo somente para K, em plantas com 2,5 anos ( $P < 0,05$ ) e 4,5 anos ( $P < 0,1$ ), e para Mg, aos 4,5 anos ( $P < 0,1$ ). Em razão desse comportamento, optou-se por discutir os resultados com base na média das DPs.

Avaliando o *status* nutricional da floresta ao longo do ciclo de crescimento (também somente analisado nas idades de 2,5, 4,5 e 6,75 anos), a partir dos valores de concentração foliar, pode-se inferir que ocorreu alguma restrição no suprimento de P e de Ca com o aumento da idade (de 2,5 para 6,75 anos) (Quadro 1), uma vez que seus valores estão abaixo dos adequados, citados por alguns autores (Barros et al., 1990a; Herbert, 1996; Raij et al., 1996). Os teores de Mg, Zn e B, mesmo não tendo decrescido com a idade, também estão bem abaixo dos níveis críticos citados.

A diminuição das concentrações de Ca e Mg na casca com a idade das árvores pode indicar redução na disponibilidade desses nutrientes para as plantas, decorrente da exaustão de suas formas trocáveis no solo, e, ou, que processos de retranslocação de nutrientes neste tecido intensificaram-se com o aumento da idade das árvores. Já a redução dos teores de K, Ca e Mg no lenho pode ter sido causada tanto por aumento nas restrições ao suprimento, como por incremento nas taxas de ciclagem interna, decorrente do aumento das taxas de formação de cerne com a idade (Reis & Barros, 1990).

Quadro 1. Concentração de nutrientes nos componentes da parte aérea, na serapilheira e no folheto de *Eucalyptus grandis* em diferentes idades. Valores médios de povoamentos cultivados em diferentes densidades populacionais

Componente	Idade	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
	ano	g kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>				
Folha	0,25	14,0	2,80	14,5	7,8	3,90	101,7	14,7	583,7	774,0	28,3
	2,50	19,0	1,10	7,9	5,6	1,90	-	-	-	-	-
	4,50	21,0	1,10	13,5	5,0	1,80	9,2	6,1	593,6	419,7	9,6
	6,75	20,0	1,00	10,6	4,3	1,90	9,7	9,9	251,8	431,7	23,2
Galho	0,25	11,0	1,30	12,4	3,9	0,60	45,0	7,0	195,0	127,0	20,0
	2,50	3,0	0,40	3,2	3,6	0,60	-	-	-	-	-
	4,50	4,6	0,50	8,8	3,9	0,90	5,6	4,4	105,0	292,5	13,1
	6,75	4,7	0,40	5,2	3,2	0,70	5,7	17,2	75,6	269,4	19,1
Casca	0,25	6,4	5,50	17,1	17,2	2,00	122,0	8,0	468,0	379,0	30,6
	2,50	3,1	0,40	5,2	10,9	1,80	-	-	-	-	-
	4,50	3,2	0,50	11,1	9,9	1,70	5,04	3,5	103,3	445,6	24,5
	6,75	3,4	0,40	9,0	5,6	1,50	3,13	3,9	53,7	353,0	17,7
Lenho	0,25	3,4	0,40	12,6	2,6	0,50	56,0	11,0	68,0	164,0	7,0
	2,50	0,6	0,10	1,3	1,0	0,17	-	-	-	-	-
	4,50	1,0	0,05	1,2	0,5	0,07	4,8	2,2	31,6	9,8	6,4
	6,75	1,0	0,05	0,7	0,3	0,06	12,2	1,0	65,1	23,5	2,6
Serapilheira	2,50	8,0	0,34	2,0	13,2	2,10	-	-	-	-	-
	4,50	8,0	0,30	2,3	7,7	1,30	8,8	1,6	1744,0	504,0	37,7
	6,75	8,0	0,27	1,0	4,6	0,90	11,2	10,2	2473,0	429,3	23,8
Folheto	2,50	-	0,40	3,4	6,2	1,50	-	-	-	-	-
	4,50	9,50	0,40	5,4	5,2	1,10	9,4	2,5	557,0	504,0	25,5

A maior contribuição do ciclo bioquímico de nutrientes (em termos de massa) em árvores de eucalipto ocorre com a remobilização de nutrientes da casca e da madeira (Grove et al., 1996). Para nutrientes imóveis no floema, como o Ca no tronco, ocorre sua retranslocação radial durante a formação do cerne, e também da parte externa da casca para tecido em crescimento, o que não acontece nas folhas, onde o cálcio permanece retido nos tecidos senescentes (Grove et al., 1996). A concentração de nutrientes próxima ao câmbio é alta e existe forte gradiente decrescente do lenho externo para o interno. Já o gradiente da casca interna para a externa nem sempre é muito significativo. Turner e Lambert (1983) encontraram concentrações de N, P, K e Ca, 37, 80, 86 e 26% inferiores em tecidos do cerne em relação às do alburno, em madeira de *E. grandis*, aos 27 anos de idade. Para muitas espécies, com diferenças marcantes nas concentrações de Ca entre cerne e alburno e entre casca interna e externa, a remobilização de Ca em tronco e galhos parece ser a maior fonte de Ca para novos tecidos, particularmente quando a absorção de Ca pelas raízes é limitada. Apesar de sua importância, os mecanismos de retenção e de remobilização do Ca no lenho ainda não são bem conhecidos (Grove et al., 1996).

A redução observada nas concentrações de K, Ca, Mg e P na casca e no lenho indica que, com o prolongamento da idade de corte, há menor exportação desses nutrientes do sistema por unidade de madeira produzida (o que não ocorreu para N). No caso do Ca, no intervalo de dois anos e três meses, a quantidade deste elemento imobilizada no tronco diminuiu em 54,9%, passando de 1,727 kg t<sup>-1</sup> de Ca no tronco, aos 4,5 anos, para 0,779 aos 6,75 anos.

A variação da densidade populacional não influenciou significativamente as concentrações de N, P e Ca no lenho. Entretanto, o aumento da DP pode contribuir para maior exaustão de nutrientes, em razão da maior quantidade de madeira produzida e exportada por unidade de área plantada (Quadro 2).

Quadro 2. Peso dos componentes secos da parte aérea (e da serapilheira) de árvores de *Eucalyptus grandis* cultivadas em diferentes densidades populacionais (DP), em três idades

Idade	DP	Folha	Casca	Galho	Lenho	Serapilheira
ano	plantas ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>				
2,5	5.000	4,0	7,6	5,5	45,2	7,4
2,5	2.500	4,7	6,3	5,8	46,6	8,1
2,5	1.666	4,0	6,6	5,0	32,4	6,5
2,5	1.250	4,2	5,6	3,3	27,5	6,5
2,5	833	3,8	4,1	3,7	25,6	5,9
2,5	625	2,8	3,6	2,8	19,2	4,3
2,5	500	2,6	4,0	1,9	13,2	3,7
4,5	5.000	1,9	13,0	3,2	76,6	15,4
4,5	2.500	3,0	11,2	3,7	83,0	16,8
4,5	1.666	3,5	8,4	3,7	68,5	15,5
4,5	1.250	3,0	11,2	4,1	56,8	13,6
4,5	833	2,9	9,4	5,5	65,3	14,6
4,5	625	2,8	7,7	3,8	50,9	15,5
4,5	500	3,3	7,3	3,7	51,7	10,5
6,75	5.000	3,9	12,5	6,3	125,8	20,9
6,75	2.500	2,9	10,6	4,1	110,8	21,4
6,75	1.666	2,7	10,2	4,8	103,9	19,8
6,75	1.250	3,5	11,4	4,7	115,8	19,3
6,75	833	2,1	10,7	4,3	98,8	17,4
6,75	625	2,2	8,3	3,7	88,7	16,2
6,75	500	2,1	10,7	4,7	73,4	13,5

A redução observada nas concentrações de P, K, Ca e Mg na serapilheira com o aumento da idade da floresta (Quadro 1) pode estar indicando que a taxa de ciclagem biogeoquímica desses nutrientes aumenta com a idade da floresta, ou que os materiais que contribuem para a formação da serapilheira ficam com menores concentrações nesses nutrientes com a idade devido à redução da disponibilidade desses nutrientes no solo ao longo do ciclo de crescimento, fato esse constatado para K e Ca nas folhas e K e Mg nos galhos (Quadro 1), ou, ainda, que a proporção de componentes com maiores concentrações de nutrientes na composição da serapilheira decresce com a idade. A constância da concentração de N na serapilheira está coerente com o observado para este nutriente nas folhas e nos galhos, principais componentes da serapilheira. Também, indica a não-existência de alterações nas taxas de ciclagem biogeoquímica de N, uma vez que não houve redução no teor deste nutriente na serapilheira com o aumento da idade das árvores (Quadro 1).

A mineralização dos componentes da serapilheira estimada pelas concentrações dos materiais contidos nas sacolas de decomposição indicou que, com exceção do K, que ao final do período de um ano apresentava 30,4% de sua concentração inicial (Quadro 3), os demais nutrientes não apresentaram variações significativas ao longo do período avaliado. Além das quantidades de K disponibilizadas com a mineralização dos tecidos decompostos, também deve ter ocorrido lixiviação deste nutriente da serapilheira antes de sua decomposição, disponibilizando-o mais rapidamente que os demais, os quais só são liberados com a decomposição da serapilheira. Sabe-se que a liberação do K e Na (elementos que não são componentes estruturais de tecidos) ocorre rapidamente pela lixiviação provocada pela água da chuva, em taxas mais rápidas do que as de perda de peso do tecido. No caso do Ca e Mg, as taxas de liberação são similares à taxa de perda de peso dos tecidos, e as de N, P e S são menores que a perda de peso (O'Connell & Grove, 1996). Esses autores estabeleceram a seguinte seqüência de liberação de elementos dos componentes da serapilheira:  $Na > K > Mg > S >$



Ca > N > P. Esse comportamento deve refletir o modo como esses nutrientes estão imobilizados nos tecidos vegetais.

As concentrações dos nutrientes nas amostras de folheto (composto de folhas, casca, galhos e frutos) coletadas ao longo do ano também não apresentaram variações significativas (Quadro 3), do mesmo modo que a concentração nas folhas descartadas pelas árvores (folhas contidas no folheto) (Quadro 3). Isso indica que o efeito da sazonalidade climática, marcante na região, caracterizada por um período mais frio e seco, de maio a setembro, e outro mais quente e com chuvas, de outubro a abril, não interferiu na concentração de nutrientes nas folhas descartadas pelas árvores. Assim, as taxas de ciclagem bioquímica nesses tecidos devem ter sido semelhantes ao longo do ano, apesar da provável diferença nas taxas de absorção ocorrida em virtude de variações na disponibilidade de água no solo (Leite et al., 1999).

As diferenças de concentrações observadas aos 4,5 anos entre as folhas fisiologicamente ativas (Quadro 1) e as folhas descartadas (Quadro 3) indicam a magnitude da ciclagem bioquímica dos nutrientes que ocorre durante o processo de senescência das folhas. Valores de -43,8, -63,6, -53,3, +24,0 e -22,2% foram encontrados para N, P, K, Ca e Mg, respectivamente. Esses valores indicam a seguinte seqüência de mobilidade: P > K > N > Mg e mostram a ausência de mobilidade do Ca. Esta seqüência foi a mesma observada aos 2,5 anos entre folhas e folheto, composto principalmente por folhas (-62,9, -56,7, +10,6 e -18,0% para P, K, Ca e Mg, respectivamente) (Leite et al., 1998). Para *E. diversicolor* e *E. marginata*, a retranslocação de nutrientes de folhas senescentes (diferença percentual entre folhas vivas e senescentes) foi de -56,0, -71,1, -63,0, +30,0 e -4,0% para N, P, K, Ca e Mg, respectivamente (Grove et al., 1996). Attiwill (1981) relata que as quantidades de N e de P remobilizadas das folhas senescentes de eucalipto são maiores do que em outras espécies anuais e lenhosas. Em plantas cultivadas em solos de baixa fertilidade, a retranslocação, em termos relativos, é maior que em solos mais férteis (Grove et al., 1996).

Quadro 3. Concentração de nutrientes na serapilheira (amostrada em julho de 1996) de um povoamento de eucalipto com 4,5 anos de idade, em material de serapilheira contido em sacolas de decomposição, em amostras de folheto e de folhas descartadas, amostradas em intervalos bimensais. Valores médios de povoamentos cultivados em diferentes densidades populacionais

Material	Nutriente	Época de amostragem						
		Jul./96	Set./96	Nov./96	Jan./97	Mar./97	Mai./97	Jul./97
		g kg <sup>-1</sup>						
Serapilheira	N	8,3	10,0	10,0	10,9	9,3	11,7	10,9
	P	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4
	K	2,3	1,9	1,2	1,1	1,6	0,8	0,7
	Ca	7,7	7,5	7,3	7,4	5,9	7,9	7,0
	Mg	1,3	1,2	1,1	1,0	1,3	1,1	1,0
Folheto	N	-	9,5	8,6	9,0	9,5	8,4	-
	P	-	0,4	0,3	0,3	0,4	0,2	-
	K	-	5,4	2,5	1,6	0,6	2,7	-
	Ca	-	5,2	4,6	4,7	6,3	6,6	-
	Mg	-	1,1	1,0	1,1	1,0	1,4	-
Folhas descartadas pelas árvores	N	-	11,8	10,3	11,5	11,1	8,3	-
	P	-	0,4	0,3	0,4	0,4	0,2	-
	K	-	6,3	3,1	2,2	0,7	2,5	-
	Ca	-	6,2	5,3	6,3	7,4	6,6	-
	Mg	-	1,4	1,1	1,3	1,2	1,4	-

## Conteúdo de nutrientes

As quantidades de nutrientes acumuladas na parte aérea das árvores (folhas, galhos, casca e lenho) (PA), somadas às quantidades existentes nos materiais da serapilheira (S), ou seja, na PA + S, ao longo do ciclo de cultivo, representam uma estimativa da demanda da floresta por nutrientes. Esta estimativa seria mais exata se, também, fossem computados os conteúdos de nutrientes do sistema radicular. Em trabalho desenvolvido em uma região próxima ao local desse experimento (Leite - dados não publicados) verificou-se que no sistema radicular de florestas de *E. grandis*, com sete anos de idade, estão acumuladas quantidades equivalentes a 12,1; 8,6; 8,9; 10,0; e 9,9% das quantidades de N, P, K, Ca e Mg imobilizadas na PA + S. O conhecimento das quantidades acumuladas na PA + S, em diferentes idades, permite estimar a dinâmica da demanda ao longo do ciclo. Essa informação é essencial para definir as melhores épocas de aplicação de fertilizantes, isto é, aquelas que antecedem os períodos nos quais a demanda é mais acentuada.

O acúmulo de N na PA + S foi linear com a idade das árvores (Quadro 4). Já o acúmulo de P, K, Ca e Mg seguiu modelos quadráticos nas situações de DPs intermediárias e elevadas e modelos lineares (exceto para Ca) nas menores DPs (Quadro 4), indicando, nos casos em que o acúmulo ocorreu de modo quadrático, que, a partir de certa idade, as perdas de nutrientes dos tecidos são maiores que a acumulação.

Quadro 4. Equações de regressão de conteúdo (kg ha<sup>-1</sup>) de N, P, K, Ca e Mg na biomassa total da parte aérea somada ao conteúdo da serapilheira (PA + S) e de coeficiente de utilização biológico do tronco (CUB) desses nutrientes em função da idade do povoamento (ID), para povoamentos cultivados em três densidades populacionais (DP)

Nutriente	Componente	DP	Equação	Pt. máx <sup>(1)</sup>	R <sup>2</sup>
				planta ha <sup>-1</sup>	ano
N	PA + S	5.000	$\hat{Y} = 9,0134 + 64,3500 \text{ ID}$	6,75	0,971
N	PA + S	1.667	$\hat{Y} = 7,9072 + 58,011 \text{ ID}$	6,75	0,957
N	PA + S	500	$\hat{Y} = -7,517 + 48,834 \text{ ID}$	6,75	0,981
P	PA + S	5.000	$\hat{Y} = -0,5718 + 7,7218 \text{ ID} - 0,5886 \text{ ID}^2$	6,56	0,977
P	PA + S	1.667	$\hat{Y} = -0,7539 + 6,9146 \text{ ID} - 0,6148 \text{ ID}^2$	5,62	0,955
P	PA + S	500	$\hat{Y} = -0,40909 + 2,5185 \text{ ID}$	6,75	0,981
K	PA + S	5.000	$\hat{Y} = -16,1964 + 108,832 \text{ ID} - 8,4821 \text{ ID}^2$	6,41	0,982
K	PA + S	1.667	$\hat{Y} = -17,1780 + 95,000 \text{ ID} - 8,033 \text{ ID}^2$	5,91	0,936
K	PA + S	500	$\hat{Y} = 0,5995 + 34,881 \text{ ID}$	6,75	0,858
Ca	PA + S	5.000	$\hat{Y} = -19,345 + 144,369 \text{ ID} - 15,4417 \text{ ID}^2$	4,67	0,984
Ca	PA + S	1.667	$\hat{Y} = -15,662 + 117,179 \text{ ID} - 12,9418 \text{ ID}^2$	4,53	0,983
Ca	PA + S	500	$\hat{Y} = -11,138 + 84,960 \text{ ID} - 8,0880 \text{ ID}^2$	5,25	0,990
Mg	PA + S	5.000	$\hat{Y} = -1,3628 + 19,7052 \text{ ID} - 1,6102 \text{ ID}^2$	6,12	0,968
Mg	PA + S	1.667	$\hat{Y} = -2,3958 + 20,718 \text{ ID} - 2,0245 \text{ ID}^2$	5,12	0,995
Mg	PA + S	500	$\hat{Y} = 1,46279 + 6,9808 \text{ ID}$	6,75	0,937
CUB-N	Tronco	5.000	$\hat{Y} = 107,68 + 333,989 \text{ ID} - 35,192 \text{ ID}^2$	4,74	0,697
CUB-N	Tronco	1.667	$\hat{Y} = 85,79 + 392,364 \text{ ID} - 44,425 \text{ ID}^2$	4,41	0,858
CUB-N	Tronco	500	$\hat{Y} = 82,90 + 512,529 \text{ ID} - 65,769 \text{ ID}^2$	3,89	0,813
CUB-P	Tronco	5.000	$\hat{Y} = 584,20 + 1667,17 \text{ ID}$	6,75	0,879
CUB-P	Tronco	1.667	$\hat{Y} = 472,21 + 2055,92 \text{ ID}$	6,75	0,974
CUB-P	Tronco	500	$\hat{Y} = 379,75 + 1819,70 \text{ ID}$	6,75	0,980
CUB-K	Tronco	5.000	$\hat{Y} = 85,38 + 81,18 \text{ ID}$	6,75	0,672
CUB-K	Tronco	1.667	$\hat{Y} = 71,31 + 91,145 \text{ ID}$	6,75	0,827
CUB-K	Tronco	500	$\hat{Y} = 82,69 + 85,977 \text{ ID}$	6,75	0,799
CUB-Ca	Tronco	5.000	$\hat{Y} = 20,26 + 160,77 \text{ ID}$	6,75	0,791
CUB-Ca	Tronco	1.667	$\hat{Y} = 87,54 + 195,71 \text{ ID}$	6,75	0,930
CUB-Ca	Tronco	500	$\hat{Y} = 23,49 + 140,05 \text{ ID}$	6,75	0,988
CUB-Mg	Tronco	5.000	$\hat{Y} = 532,52 + 781,64 \text{ ID}$	6,75	0,885
CUB-Mg	Tronco	1.667	$\hat{Y} = 387,30 + 826,02 \text{ ID}$	6,75	0,979
CUB-Mg	Tronco	500	$\hat{Y} = 519,96 + 544,16 \text{ ID}$	6,75	0,946

<sup>(1)</sup> Ponto de máximo estimado.

Caso o crescimento e, conseqüentemente, o acúmulo de nutrientes tenham sido condicionados principalmente pela disponibilidade de nutrientes no sistema, o comportamento da dinâmica de acúmulo observada pode estar indicando que as quantidades de N disponíveis não limitaram o crescimento da floresta em nenhuma das DPs avaliadas, assim como as de P, K e Mg também não devem ter sido limitantes nas situações em que o eucalipto foi plantado em menores DPs. Já o Ca deve ter sido limitante até mesmo nas menores DPs. Portanto, além do ritmo natural de crescimento da floresta, os baixos níveis de nutrientes disponíveis no solo (Quadro 5) devem ter contribuído para a definição da dinâmica de acúmulo observada para P, K, Ca e Mg.

A demanda por N, apesar de ser maior no primeiro e no segundo ano, ainda é significativa nas idades mais avançadas, chegando a ser, em média, 9,2% entre o sexto e o sétimo ano (Figura 1). Isso mostra que as fertilizações com N realizadas somente nos primeiros anos de crescimento da floresta não estão compatíveis com a dinâmica de sua demanda pelo povoamento. Esse fato, associado às características da maioria dos fertilizantes nitrogenados, que possibilitam elevadas perdas de N por volatilização e lixiviação, ajuda a explicar a virtual ausência de respostas do eucalipto à fertilização nitrogenada em vários locais do país (Novais et al., 1990).

A maior demanda anual da floresta por P, estimada pelo acúmulo deste nutriente na PA + S, ocorre já no primeiro ano e chega a ser, nos dois primeiros anos após o plantio, 51,7% do máximo acumulado durante o ciclo (Figura 1). Nos três últimos anos, essa demanda reduz drasticamente. O K seguiu a mesma tendência observada para o P, indicando que as épocas mais adequadas para a adubação da floresta com esses dois nutrientes ocorrem até o segundo ano de idade, quando uma quantidade equivalente a mais de 70% do máximo desses nutrientes acumulados durante o ciclo já havia sido absorvida.

Quadro 5. Características químicas de amostras de solo coletadas em diferentes profundidades e épocas, sob povoamento de *Eucalyptus grandis*. Valores médios de amostras coletadas em parcelas com plantas cultivadas em diferentes densidades populacionais

Profundidade	Idade <sup>(1)</sup>	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al
cm	ano		g kg <sup>-1</sup>	— mg dm <sup>-3</sup> —		———— mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> —————			
0-5	2,50	4,9	30,0	1,75	26,4	2,0	1,0	14,0	72,0
0-5	4,50	4,6	22,0	0,94	14,9	1,4	0,7	15,0	59,0
0-5	6,75	4,5	22,0	1,46	31,9	1,4	0,9	16,0	74,0
5-10	2,50	4,9	28,0	1,69	18,2	1,7	0,7	14,0	74,0
5-10	4,50	4,5	20,0	0,94	12,1	0,9	0,5	16,0	62,0
5-10	6,75	4,5	20,0	1,23	27,4	0,8	0,7	16,0	73,0
10-30	4,50	4,5	16,0	0,73	9,6	0,4	0,3	14,0	55,0
10-30	6,75	4,5	16,0	0,72	19,9	0,6	0,5	14,0	63,0

<sup>(1)</sup> Idade da floresta na época em que foi realizada a amostragem do solo.

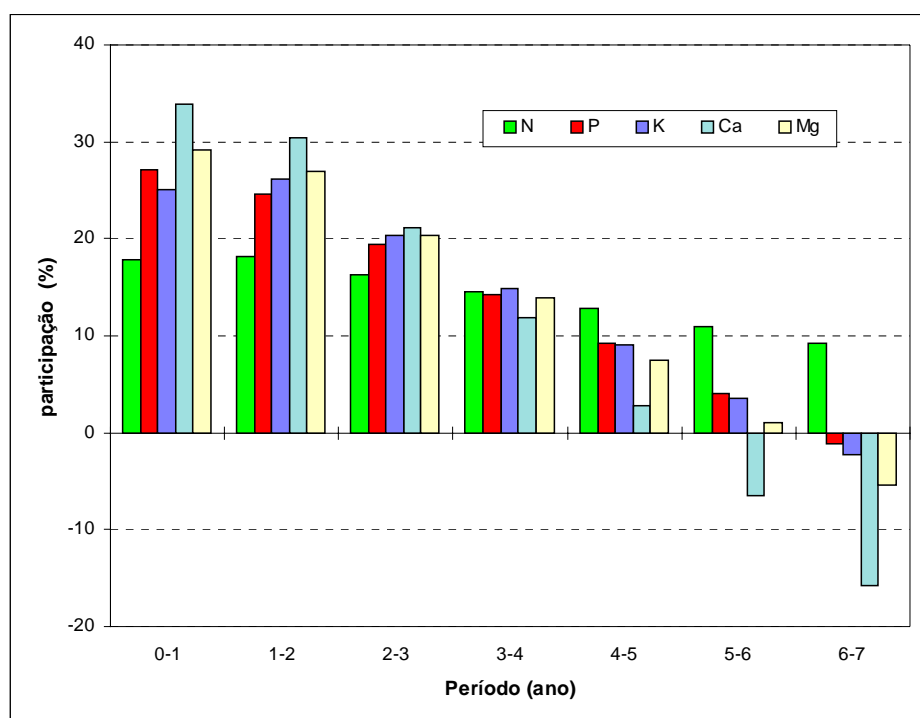


Figura 1. Participação percentual de nutrientes acumulados na biomassa de *Eucalyptus grandis* ao longo de ciclo de cultivo, estimada por equações de regressão ajustadas entre valores de conteúdo de nutrientes na biomassa da parte aérea e serapilheira, em função da idade da floresta (valores médios de sete densidades populacionais).

Quanto ao acúmulo de Ca e de Mg na PA + S, a tendência foi a mesma observada para P e K. Nos primeiros anos, essa demanda foi ainda mais acentuada do que a ocorrida para P e K, chegando a ser de mais de 64% nos dois primeiros anos para Ca e de 56,1% para Mg (Figura 1). Portanto, o fornecimento desses nutrientes deve ocorrer nos primeiros dois anos de idade da floresta, podendo ser feito em pré-plantio.

O acúmulo de nutrientes no tronco como variável da DP na idade de 2,5 anos, e para N, K e Ca na idade de 4,5 anos, foi mais bem descrito por equações quadráticas (Quadro 6). Na idade de 6,75 anos, para N, Ca e Mg, não houve tendência definida de variação do conteúdo desses nutrientes no tronco com a DP, mostrando que, para esses nutrientes, alterações da DP não alterariam a quantidade de nutrientes exportados do sistema pelo tronco colhido nessa idade. Já para P e K a quantidade exportada seria variável com a DP.

O efeito da DP sobre a demanda de Ca pela PA + S na idade de 2,5 anos, de K e Mg nas idades de 2,5 e 4,5 anos e de N e P em todas as idades seguiu modelos quadráticos (Quadro 6). Para K, Ca e Mg na idade de 6,75 anos, os melhores ajustes foram lineares (Quadro 6), mostrando que, até esta idade, o maior crescimento individual das plantas nas menores DPs ainda não foi suficiente para imobilizar quantidades equivalentes às quantidades desses nutrientes acumulados (por área) nas plantas cultivadas nas maiores DPs.

### **Coefficiente de utilização de nutrientes**

A concentração de nutrientes no tronco (casca e lenho) tem sido considerada um bom indicador do "status" nutricional do eucalipto, funcionando como um registro do ocorrido ao longo de seu ciclo de cultivo. No entanto, a concentração foliar é mais suscetível a variações

em curtos períodos, que ocorrem em consequência de modificações na disponibilidade de fatores de crescimento (como água), podendo não refletir corretamente o "status" nutricional da planta ao longo de seu ciclo. Como observado por Cromer (1996), a concentração de nutrientes em folhas de eucalipto varia sazonalmente, com a ontogenia foliar e com a posição das folhas na copa.

O coeficiente de utilização biológica de nutrientes (CUB) para o tronco aumentou linearmente para P, K, Ca e Mg com o aumento da idade da floresta e de forma quadrática com relação ao N (Quadro 4). Esse aumento linear está relacionado com a taxa de formação dos diferentes tecidos que constituem o tronco, ao longo do ciclo de crescimento da árvore. A relação lenho/casca (média de todas as DPs estudadas) foi de 5,4, 6,7 e 9,6, aos 2,5, 4,5 e 6,75 anos, respectivamente. E, também, pode ser consequência de menor absorção desses nutrientes ocorrida com o aumento da idade da floresta. Os valores de CUB encontrados para N, P, Ca e Mg na idade de 6,75 anos estão acima daqueles considerados críticos para essa espécie por Barros et al. (1990b), indicando que o suprimento desses nutrientes foi insuficiente, devendo ter causado limitações ao crescimento.

Para a idade de 6,75 anos, a variação na DP não afetou o CUB de nenhum nutriente (Quadro 6), indicando que alterações na DP não levaram a alterações na concentração de N, P, K, Ca e Mg no tronco. Os efeitos da DP sobre o CUB de P, Ca e Mg, na idade de 2,5 anos, desapareceram com o envelhecimento da floresta.



Quadro 6. Equações de regressão de conteúdo (kg ha<sup>-1</sup>) de N, P, K, Ca e Mg no tronco e na biomassa total da parte aérea somada ao conteúdo da serapilheira (PA + S) e de coeficiente de utilização biológico do tronco (CUB) desses nutrientes em função da densidade populacional (DP) (avaliada em três idades)

Nutriente	Componente	Idade	Equação	Pt.máx <sup>(1)</sup>	R <sup>2</sup>
		ano		plantas ha <sup>-1</sup>	
N	PA + S	2,5	$\hat{Y} = 71,076 + 0,0908 DP - 0,00001186 DP^2$	3828	0,924
N	PA + S	4,5	$\hat{Y} = 228,076 + 0,0748 DP - 0,00001204 DP^2$	3106	0,814
N	PA + S	6,75	$\hat{Y} = 285,133 + 0,0731 DP - 0,00000909 DP^2$	4021	0,670
P	PA + S	2,5	$\hat{Y} = 5,248 + 0,00687 DP - 0,000000874 DP^2$	3930	0,967
P	PA + S	4,5	$\hat{Y} = 14,138 + 0,00318 DP - 0,000000399 DP^2$	3978	0,757
P	PA + S	6,75	$\hat{Y} = 13,161 + 0,00513 DP - 0,000000539 DP^2$	4759	0,770
K	PA + S	2,5	$\hat{Y} = 37,922 + 0,0735 DP - 0,00000888 DP^2$	4138	0,981
K	PA + S	4,5	$\hat{Y} = 185,952 + 0,1115 DP - 0,00001642 DP^2$	3395	0,877
K	PA + S	6,75	$\hat{Y} = 192,20 + 0,0271 DP$	5000	0,771
Ca	PA + S	2,5	$\hat{Y} = 110,291 + 0,0734 DP - 0,00000981 DP^2$	3741	0,857
Ca	PA + S	4,5	$\hat{Y} = 228,286 + 0,023399 DP$	5000	0,913
Ca	PA + S	6,75	$\hat{Y} = 182,11 + 0,0134 DP$	5000	0,554
Mg	PA + S	2,5	$\hat{Y} = 14,738 + 0,0202 DP - 0,0000028 DP^2$	3607	0,939
Mg	PA + S	4,5	$\hat{Y} = 35,014 + 0,0137 DP - 0,00000221 DP^2$	3099	0,928
Mg	PA + S	6,75	$\hat{Y} = 41,374 + 0,00371 DP$	5000	0,798
N	Tronco	2,5	$\hat{Y} = -1,729 + 0,0320 DP - 0,000004397 DP^2$	3639	0,972
N	Tronco	4,5	$\hat{Y} = 65,077 + 0,0267 DP - 0,000002831 DP^2$	4714	0,904
N	Tronco	6,75	142,5	-	Ns
P	Tronco	2,5	$\hat{Y} = 1,070 + 0,0034 DP - 0,000000460 DP^2$	3695	0,950
P	Tronco	4,5	$\hat{Y} = 6,607 + 0,00097 DP$	5000	0,782
P	Tronco	6,75	$\hat{Y} = 5,578 + 0,00353 DP - 0,000000437 DP^2$	4039	0,777
K	Tronco	2,5	$\hat{Y} = 10,499 + 0,0469 DP - 0,000006066 DP^2$	3865	0,965
K	Tronco	4,5	$\hat{Y} = 10,127 + 0,0822 DP - 0,00001081 DP^2$	3802	0,881
K	Tronco	6,75	$\hat{Y} = 136,00 + 0,01759 DP$	5000	0,721
Ca	Tronco	2,5	$\hat{Y} = 39,710 + 0,0269 DP - 0,000003139 DP^2$	4284	0,716
Ca	Tronco	4,5	$\hat{Y} = 92,0114 - 0,022109 DP$	5000	0,941
Ca	Tronco	6,75	95,75	-	Ns
Mg	Tronco	2,5	$\hat{Y} = 4,297 + 0,0072 DP - 0,000000951 DP^2$	3785	0,875
Mg	Tronco	4,5	21,0	-	Ns
Mg	Tronco	6,75	22,1	-	Ns
CUB-N	Tronco	2,5	$\hat{Y} = 1407,41 + 0,2809 DP - 0,00004147 DP^2$	3387	0,920
CUB-N	Tronco	4,5	$\hat{Y} = 783,09 - 0,04044 DP$	5000	0,830
CUB-N	Tronco	6,75	824,2	-	Ns
CUB-P	Tronco	2,5	$\hat{Y} = 5637,46 + 1,0255 DP - 0,000151 DP^2$	3395	0,558
CUB-P	Tronco	4,5	8590	-	Ns
CUB-P	Tronco	6,75	12743	-	Ns
CUB-K	Tronco	2,5	503	-	Ns
CUB-K	Tronco	4,5	369	-	Ns
CUB-K	Tronco	6,75	694	-	Ns
CUB-Ca	Tronco	2,5	$\hat{Y} = 246,52 + 0,2597 DP - 0,00003841 DP^2$	3380	0,92
CUB-Ca	Tronco	4,5	$\hat{Y} = 685,66 + 0,06237 DP$	5000	0,612
CUB-Ca	Tronco	6,75	1283	-	Ns
CUB-Mg	Troncos	2,5	$\hat{Y} = 1975,06 + 0,9068 DP - 0,0001142 DP^2$	3970	0,861
CUB-Mg	Tronco	4,5	3397	-	Ns
CUB-Mg	Tronco	6,75	5469	-	Ns

<sup>(1)</sup> Ponto de máximo estimado.

## Relação entre nutrientes

Os efeitos de diluição e de concentração (Jarrel & Beverly, 1981), devido às variações de produção de matéria seca causadas por fatores que não só a disponibilidade de nutrientes, fazem com que métodos alternativos de interpretação do "status" nutricional, como as relações entre nutrientes, sejam mais confiáveis do que simples concentração ou conteúdo (Beaufils, 1973; Jones, 1981; Cromer, 1996).

Com o aumento da idade da floresta (entre 2,5 e 6,75 anos), observaram-se reduções nas relações entre o teor de Ca e o dos demais nutrientes na biomassa da PA + S (Quadro 7). No entanto, foi constatado aumento nas relações K/P, K/Mg, N/P e N/Mg. Essas alterações das relações com a idade podem indicar modificações na demanda de nutrientes ao longo do ciclo da floresta ou que a absorção de alguns nutrientes é alterada, de modo diferenciado de outros, com o aumento da idade da floresta, ou que os maiores problemas de suprimento devem ter ocorrido para Ca, em especial, e para P e Mg, uma vez que a concentração desses nutrientes diminuiu proporcionalmente mais do que outros nutrientes comparados a eles.

Para *E. globulus* e *E. sieberi*, a relação foliar N/P considerada ideal foi de 15; para valores maiores que 15 deverá existir resposta a P, e para relação menor deverá existir resposta a N (Cromer et al., 1981). Herbert (1996) apresentou as seguintes relações ótimas entre concentrações foliares em *E. grandis*: 18,0 3,5, 14,0, 0,2 e > 3,3, para N/P, N/K, N/S, P/K e Ca/Mg, respectivamente.

Quadro 7. Relações médias entre conteúdo de nutrientes nas folhas, no tronco e na parte aérea mais serapilheira (PA + S) de plantas de *Eucalyptus grandis* em diferentes idades. Valores médios de plantas cultivadas em diferentes densidades populacionais e relações entre conteúdos de nutrientes em amostras de solo coletadas nas parcelas onde essas plantas foram amostradas

Componente	Idade	Ca/P	Ca/K	Ca/Mg	Ca/N	K/P	K/Mg	K/N	N/P	N/Mg	Mg/P
	ano	(kg ha <sup>-1</sup> )/(kg ha <sup>-1</sup> )									
Folha	0,25	2,8	0,54	2,0	0,56	5,4	3,8	1,0	5,2	3,6	1,40
	2,5	5,2	0,73	2,9	0,30	7,3	4,2	0,4	17,6	10,1	1,80
	4,5	4,7	0,37	2,8	0,24	12,6	7,7	0,6	19,7	12,2	1,70
	6,75	4,2	0,41	2,3	0,22	10,3	5,8	0,5	19,2	10,8	1,80
Tronco	0,25	3,4	0,59	7,7	1,80	5,8	13,1	3,1	1,9	4,2	0,44
	2,5	15,8	1,21	6,1	2,50	13,1	5,3	2,0	6,6	2,7	2,64
	4,5	15,9	0,68	6,2	1,30	23,5	9,7	2,0	12,1	4,9	2,63
	6,75	10,4	0,58	4,4	0,70	18,5	7,9	1,2	16,2	6,8	2,45
PA + S	0,25	3,0	0,54	2,9	0,77	5,6	5,4	1,1	3,9	3,8	1,00
	2,5	10,6	1,07	4,9	0,96	10,0	4,7	0,9	11,1	5,2	2,10
	4,5	11,9	0,61	5,4	0,90	19,7	8,9	1,5	13,4	6,1	2,20
	6,75	8,7	0,56	4,0	0,56	15,5	7,2	1,0	15,6	7,2	2,20
Solo (0-5) <sup>(1)</sup>	2,5	-	1,51	1,67	-	-	1,10	-	-	-	-
Solo (5-10)	2,5	-	1,85	1,67	-	-	0,89	-	-	-	-
Solo (0-5)	4,5	-	1,88	1,67	-	-	0,89	-	-	-	-
Solo (5-10)	4,5	-	1,49	1,67	-	-	1,12	-	-	-	-
Solo (10-30)	4,5	-	0,83	1,67	-	-	2,00	-	-	-	-
Solo (0-5)	6,75	-	0,87	1,67	-	-	1,90	-	-	-	-
Solo (5-10)	6,75	-	0,58	1,67	-	-	2,85	-	-	-	-
Solo (10-30)	6,75	-	0,60	1,67	-	-	2,76	-	-	-	-

<sup>(1)</sup> Profundidade de amostragem do solo em cm.

## **Alocação de nutrientes**

A participação percentual dos conteúdos de N, P, K, Ca e Mg nas folhas e nos galhos em relação ao total imobilizado na biomassa (PA + S) reduziu com o aumento da idade da floresta (Quadro 8). Na casca, essa participação, com exceção de K, aumentou até a idade de 4,5 anos, não variando mais; a de K aumentou até a idade de 6,75 anos. No lenho, somente a participação de N aumentou; já a dos demais nutrientes ficou estável nas três idades (2,5, 4,5 e 6,75 anos). A participação percentual de nutrientes na serapilheira para K, Ca e Mg foi semelhante à ocorrida no lenho. Para N e P houve aumentos nesse componente até a idade de 4,5 anos.

Aos 2,5 anos, o maior acúmulo de N e de P ocorreu nas folhas, e aos 6,75 anos, na serapilheira. O maior acúmulo de K que ocorria no lenho aos 2,5 anos passou a ocorrer na casca aos 6,75 anos. O acúmulo preferencial de Ca e Mg desde os 2,5 até os 6,75 anos ocorreu na serapilheira.

No final do ciclo, a maior proporção de N, P, Ca e Mg estava imobilizada na serapilheira (Quadro 8). Portanto, a adoção de práticas de manejo como a queima desse material, que levam a perdas por volatilização (de alguns nutrientes), devido à remoção de cinzas pelo vento, além de facilitar a lixiviação de nutrientes solúveis e a fixação de P, certamente contribuirá para acelerar a exaustão de nutrientes desses sistemas.

A distribuição de nutrientes observada entre os componentes da biomassa pode ser conseqüência do distrofismo do sistema, sendo diferente da observada em ambientes com solos comparativamente mais férteis, como aqueles encontrados nos platôs litorâneos do Estado do Espírito Santo. Em povoamentos de eucalipto com nove anos de idade, na região litorânea do Espírito Santo, a serapilheira não é a principal acumuladora de nenhum macronutriente (Neves, 2000).

Quadro 8. Participação de nutrientes nos componentes da biomassa da parte aérea e serapilheira de parcelas com *Eucalyptus grandis* ao longo de um ciclo de cultivo (valores médios de sete densidades populacionais)

Nutriente	Idade ano	%				
		Folha	Galho	Casca	Lenho	Serapilheira
N	0,25	77,3	5,1	9,8	7,8	0,0
N	2,50	42,8	9,8	7,3	10,6	29,5
N	4,50	20,9	6,1	10,5	22,2	40,3
N	6,75	14,8	6,0	9,8	29,2	40,2
P	0,25	60,0	2,4	33,6	4,0	0,0
P	2,50	32,2	16,0	12,3	23,3	16,2
P	4,50	18,1	10,3	27,0	19,8	24,7
P	6,75	14,7	10,3	23,3	25,6	26,1
K	0,25	57,0	4,1	18,5	20,5	0,0
K	2,50	24,9	14,9	17,2	32,8	10,2
K	4,50	13,5	11,5	36,0	27,4	11,6
K	6,75	12,2	10,1	40,0	29,7	8,0
Ca	0,25	55,6	2,4	34,3	7,8	0,0
Ca	2,50	11,0	10,3	22,2	15,0	41,5
Ca	4,50	5,5	5,2	36,2	11,8	41,3
Ca	6,75	5,8	7,3	30,0	16,5	40,5
Mg	0,25	82,9	1,1	11,7	4,4	0,0
Mg	2,50	20,6	9,3	20,0	13,8	36,4
Mg	4,50	10,6	6,5	34,0	10,1	38,5
Mg	6,75	10,5	7,0	33,8	12,7	35,9
Zn	4,50	5,3	4,0	9,1	57,1	24,4
Zn	6,75	1,7	1,7	2,2	81,3	13,2
Cu	4,50	7,9	7,4	14,8	60,1	9,8
Cu	6,75	6,5	18,9	9,6	22,5	42,4
Fe	4,50	5,8	1,3	3,9	6,4	82,5
Fe	6,75	1,3	0,6	1,1	12,3	84,7
Mn	4,50	8,4	7,4	29,4	4,4	50,5
Mn	6,75	7,1	7,6	23,2	14,5	47,6
B	4,50	2,3	3,9	18,9	31,8	43,0
B	6,75	5,8	8,9	18,9	24,8	41,7

O tronco é, depois da serapilheira, o componente que mais imobilizou nutrientes ao final do ciclo (Quadro 8). Portanto, as quantidades exportadas do sistema são bastante significativas, devendo ser repostas para assegurar a manutenção do potencial produtivo do sistema ao longo dos próximos ciclos de cultivo.

### **Nutrientes no solo**

Com a imobilização de nutrientes na biomassa florestal, deverá ocorrer uma proporcional depleção de nutrientes no solo. Os nutrientes podem retornar ao solo quando ocorrer a mineralização de resíduos e a lavagem de folhas, casca e galhos. Portanto, a dinâmica de retirada e de reposição de nutrientes ao solo depende, principalmente, da dinâmica de absorção de nutrientes pela floresta e das taxas de mineralização de seus resíduos, além da adição de fertilizantes. A imobilização de nutrientes em biomassa retirada da área poderá ter implicações na sustentabilidade de futuros povoamentos, do mesmo modo que o aumento de concentração de elementos como o Al no solo, que, em níveis elevados, podem limitar o crescimento da floresta. A depleção de cátions e o aumento do Al trocável poderão influir no crescimento e na distribuição de raízes e afetar relações hídricas e nutricionais das plantas de eucalipto.

Dentro do período monitorado de 2,5 a 6,75 anos, constataram-se reduções nos valores de pH e nos teores de MO, P, K, Ca e Mg entre 2,5 e 4,5 anos (Quadro 5), e os valores de pH também reduziram entre 4,5 e 6,75 anos. Rhoades & Binkley (1996) constataram redução do pH do solo de 5,9 para 5,0 sob plantio de *E. saligna*, após oito anos de cultivo no Havaí. Entre 4,5 e 6,75 anos, os teores de P e de K aumentaram e os de MO, Ca e Mg não se alteraram. Os teores de Al trocável aumentaram tanto de 2,5 para 4,5 anos, como de 4,5 para 6,75 anos. Esses resultados estão coerentes com a dinâmica de absorção de nutrientes constatada nesses períodos (Figura 1), uma vez que o acúmulo de mais de 80% do máximo

de N, P, K, Ca e de Mg imobilizado na PA + S, ao longo do ciclo, ocorreu até os 4,5 anos. O aumento nos teores de K entre 4,5 e 6,75 anos está compatível com a redução do teor deste nutriente na biomassa a partir de 4,5 anos (Quadro 1) e sua rápida liberação dos tecidos vegetais.

O aumento da acidez ativa e do alumínio trocável do solo ao longo do ciclo de cultivo são alterações que, junto com a depleção de nutrientes essenciais, causarão impactos negativos à qualidade do solo e terão que ser corrigidas para que seja mantida a produção florestal nesse ambiente.

## CONCLUSÕES

1. A dinâmica da demanda do eucalipto por Ca foi semelhante à de Mg, do mesmo modo que a de P foi semelhante à de K. Já a de N foi muito diferente da observada para esses nutrientes.

2. O prolongamento da idade de corte da floresta pode ser utilizado como estratégia para o controle das quantidades de P, K, Ca e Mg exportadas do sistema por unidade de madeira colhida.

3. Sendo a serapilheira a principal armazenadora de N, P, Ca e Mg ao final do ciclo de cultivo, a conservação desses nutrientes no sistema e a sincronização de sua mineralização com a demanda de nutrientes pela floresta serão fundamentais para que ocorra otimização no aproveitamento de nutrientes nesses sistemas.

4. Em solos de baixa fertilidade, a serapilheira pode constituir o principal reservatório de nutrientes em plantações de eucalipto.

5. O tempo de cultivo de 6,75 anos não foi suficiente para que as quantidades de nutrientes absorvidas, por unidade de área, pelas plantas de eucalipto cultivadas em diferentes densidades populacionais se igualassem.

6. A sustentabilidade da produção de eucalipto em locais semelhantes ao utilizado neste estudo depende da reposição de nutrientes exportados.

## LITERATURA CITADA

- ALTHOFF, P.; OLIVEIRA, A.C.; MORAIS, E.J. & FONSECA, S. Eucalypt dieback in "Cerrado" areas in North - Northwest of Minas Gerais - Brazil. In: SCHÖNAU, A.P.G., ed. Intensive forestry: the role of eucalypts. Pretoria, Southern African Institute of Forestry, 1991. p.598-609.
- ATTIWILL, P.M. Energy, nutrient flow, and biomass. In: AUSTRALIAN FOREST NUTRITION WORKSHOP PRODUCTIVITY IN PERPETUITY. Melbourne, CSIRO Publishing, 1981. p.131-144.
- ATTIWILL, P.M.; POLGLASE, P.J.; WESTON, C.J. & ADAMS, M.A. Nutrient cycling in forests of south-eastern Australia. In: ATTIWILL, P.M. & ADAMS, M.A., eds. Nutrition of eucalypts. Collingwood, CSIRO Publishing, 1996. p.191-228.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. & NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F., eds. Relação solo eucalipto. Viçosa, Folha de Viçosa, 1990a. p.25-91.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; LEITE, R.A. & TEIXEIRA, J.L. NUTRICALC - Versão I - manual técnico. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1990b. 41p.
- BEAUFILS, E.R. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). Pietermaritzburg, University of Natal, 1973. 132p. (Soil Sci. Bulletin, 1)
- BELLOTE, A.F.J.; SARRUGE, J.R.; HAGG, H.P. & OLIVEIRA, E.D. Extração e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* Hill, ex-Maiden em função da idade - macronutrientes. IPEF, 20:1-23, 1980.
- BERNARDO, A.L. Crescimento e eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp., sob diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 102p. (Tese de Mestrado)
- BINKLEY, D.; O'CONNEL, A.M. & SANKARAN, K.V. Stand development and productivity. In: NAMBIAR, E.K.S. & BROWN, A.G., eds. Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests. Canberra, CSIRO Publishing, 1997. p.419-442.



- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofométrica de fósforo em extratos de solo e planta. R. Ceres, 21:73-85, 1974.
- CROMER, R.M. Silviculture of eucalypt plantations in Australia. In: ATTIWILL, P.M. & ADAMS, M.A., eds. Nutrition of eucalypts. Collingwood, CSIRO Publishing, 1996. p.259-274.
- CROMER, R.M.; CAMERON, D.; CAMERON, D.M.; FLINN, D.W.; NEILSEN, W.A.; RAUPACH, M.; SNOWDON, P. & WARING, H.D. Response of eucalypt species to fertiliser applied soon after planting at several sites. Aust. For., 97:3-13, 1981.
- DICKSON, R.E. Assimilate distribution and storage. In: RAGHAVENDRA, A.S., ed. Physiology of trees. New York, John Wiley & Sons, 1991. p.51-86.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento de Solos, 1979. não paginado.
- GAVA, J.L. Efeito da adubação potássica em plantios de *E. grandis* conduzidos em segunda rotação em solos com diferentes teores de potássio trocável. IPEF, 11:88-94, 1997.
- GALO, M.V. Resposta do eucalipto à aplicação de potássio em solo de cerrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1993. 40p. (Tese de Mestrado)
- GROVE, T.S.; THOMSON, B.D. & MALAJCZUK, N. Nutritional physiology of eucalypts: uptake, distribution and utilization. In: ATTIWILL, P.M. & ADAMS, M.A., eds. Nutrition of eucalypts. Collingwood, CSIRO Publishing, 1996. p.77-108.
- HERBERT, M.A. & ROBERTSON, M.A. Above-ground biomass composition and nutrient content for *Eucalyptus* species in the Southeastern Transvaal. In: SCHÖNAL, A.P.G., ed. SYMPOSIUM ON INTENSIVE FORESTRY: the role of eucalypts, Pretoria, 1991. Symposium. Pretoria, Southern African Institute of Forestry, 1991. p.662-674.
- HERBERT, M.A. Fertilizers and eucalypt plantations in South Africa. In: ATTIWILL, P.M. & ADAMS, M.A., eds. Nutrition of eucalypts. Collingwood, CSIRO Publishing, 1996. p.303-326.

- JARRELL, W.M. & BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. *Adv. Agron.*, 34:197-224, 1981.
- JONES, C.A. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analyses. *Comm. Soil Sci. Plant. Anal.*, 12:785-794, 1981.
- JUDD, T.S.; ATTIWILL, P.M. & ADAMS, M.A. Nutrient concentrations in *Eucalyptus*: a synthesis in relation to differences between taxa, sites and components. In: ATTIWILL, P.M. & ADAMS, M.A., eds. *Nutrition of eucalypts*. Collingwood, CSIRO Publishing, 1996. p.123-154.
- KHANNA, P.H & ULRICH, B. Soil characteristics influencing nutrient supply in forest soil. In: BOWEN, G.D. & NAMBIAR, E.K.S., eds. *Nutrition of plantation forests*. London, Academic Press, 1984. p.79-118.
- LADEIRA, B.C. Crescimento, produção de biomassa e eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp., sob três espaçamentos, em uma seqüência de idades. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. 123p. (Tese de Mestrado)
- LANDESBERG, J.J. & WARING, R.H. A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. *For. Ecol. Manag.*, 95:209-228, 1997.
- LEITE, F.P. Crescimento, relações hídricas, nutricionais e lumínicas em povoamento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1996. 90p. (Tese de Mestrado)
- LEITE, F.P.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F & FABRES, A.S. Acúmulo e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* sob diferentes densidades populacionais. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:419-426, 1998.
- LEITE, F.P.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; SANS, L.M.A & FABRES, A.S. Relações hídricas em povoamento de eucalipto com diferentes densidades populacionais. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:9-16, 1999.
- LELES, P.S.S. Crescimento, alocação de biomassa, distribuição de nutrientes e uso de água em *E. camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 133p. (Tese de Mestrado)

- MILLER, H.G. Dynamics of nutrient cycling in plantation ecosystems. In: ALDOUS, J.R., ed. Wood for energy: The implications for harvesting utilization and marketing. Edinburgh, Institute of Chartered Foresters, 1984. p.137-146.
- MILLER, H.G. The influence of stand development on nutrient demand, growth and allocation. *Plant Soil*, 168-169:225-232, 1995.
- NELSON, D.W. & SOMMERS, L.E. Determination of total nitrogen in plant material. *Agron. J.*, 65:109-12, 1973.
- NEVES, J.C.L. Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo. Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000. 190p. (Tese de Doutorado)
- NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Nutrição mineral do eucalipto. In: BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F., eds. Relação solo eucalipto. Viçosa, Folha de Viçosa, 1990. p.25-91.
- NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Interpretação de análise química do solo para o crescimento de *Eucalyptus* spp. - níveis críticos de implantação e de manutenção. *R. Árvore*, 10:105-111, 1986.
- NOVAIS, R.F. & BARROS, N.F. Sustainable agriculture and forestry production systems on acid soil: Phosphorus as a case-study. In: MONIZ, A.C., ed. Plant-soil interactions at low pH. Campinas, Brazilian Soil Science Society, 1997. p.39-51.
- O'CONNELL, A.M. & GROVE, T.S. Biomass production, nutrient uptake and nutrient cycling in the jarrah (*Eucalyptus marginata*) and (*Eucalyptus diversicolor*) forests of south-western Australia. In: ATTIWILL, P.M. & ADAMS, M.A., eds. Nutrition of eucalypts. Collingwood, CSIRO Publishing, 1996. p.155-190.
- OLSEN, J.K. & BELL, L.C. A glasshouse evaluation of critical N and P concentrations and N:P ratios in various plant parts of six eucalypt species. *Austr. J. Bot.*, 38:281-298, 1990.
- PEREIRA, A.R.; BARROS, N.F.; ANDRADE, D.C. & CAMPOS, P.T.A. Concentração e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* em função da idade, cultivado na região do cerrado. *Brasil Flor.*, 13:27-37, 1984.

- PEREIRA, A.R. Biomassa e ciclagem de nutrientes minerais em povoamentos jovens de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, em regiões de cerrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1990. 167p. (Tese de Doutorado)
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H. & FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo & Fundação, IAC, 1996. 285p.
- REIS, M.G.F.; BARROS, N.F. & KIMMINS, J.P. Acúmulo de nutrientes em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. R. Árvore, 9:149-162, 1987.
- REIS, M.G.F. & BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F., eds. Relação solo eucalipto. Viçosa, Folha de Viçosa, 1990. p.265-302.
- RHOADES, C. & BINKLEY, D. Factors influencing decline in soil pH in Hawaiian *Eucalyptus* and *Albizia* plantations. For. Ecol. Manag., 80:47-56, 1996.
- SCATOLINI, F.M.; FIRME, D.J.; GARCIA, C.H.; GOMES, F.P. & CAMARGO, F.R.A. Split application of potassium fertilization in *E. grandis* in areas at Votorantim Celulose e Papel S.A. Salvador, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. p.366-368.
- STAPE, J.L. & BENEDETTI, V. Decréscimo de produtividade e resposta da brotação do *Eucalyptus grandis* à fertilização com macronutrientes em areia quartzosa no estado de São Paulo - Brasil. Salvador, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. p.112-117.
- TURNER, J. & LAMBERT, M.J. Nutrient cycling within a 27-year-old *Eucalyptus grandis* plantation in New South Wales. For. Ecol. Manag., 6:155-168, 1983.
- VITTI, G.C.; FERREIRA, A.C. & MANARIN, C.A. Métodos de análises de elementos em material vegetal. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 28p.

## CAPÍTULO 2

### **ALTERAÇÕES DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLOS DA REGIÃO DO VALE DO RIO DOCE PELO CULTIVO DE EUCALIPTO**

#### RESUMO

Modificações em características edáficas, assim como as conseqüências resultantes dessas alterações sobre a sustentabilidade do processo de produção de madeira de eucalipto, ainda são pouco conhecidas. Com objetivo de identificar essas modificações, realizou-se este trabalho em cinco locais cultivados com eucalipto na região do Vale do Rio Doce-MG. Foram selecionadas áreas cultivadas com eucalipto por mais de três ciclos, lado a lado com áreas onde o uso do solo ainda fosse anterior ao do plantio do eucalipto. Nessas situações (área com floresta de eucalipto próxima à área de pastagem, área de pastagem, área de eucalipto próximo à área de floresta nativa e área de floresta nativa), amostras de solo foram coletadas e analisadas, utilizando-se métodos tradicionais de avaliação da fertilidade e, também, o fracionamento de formas de P, K, Ca e Mg, para se fazer uma avaliação das alterações ocorridas nessas características do solo como conseqüência do cultivo do eucalipto. Nas áreas cultivadas com eucalipto, constatou-se redução nos teores de Ca, Mg

e K trocáveis; redução no pH; e aumentos nos teores de  $Al^{3+}$  e de H + Al. Os teores de fósforo (Mehlich-1) aumentaram nas áreas cultivadas com eucalipto. Entretanto, as concentrações das diferentes formas de fósforo pelo fracionamento de Hedley foram dependentes das formas de uso e dos solos, fato não diagnosticado por meio dos valores de P-Mehlich-1. A baixa reserva de nutrientes nesses solos, indicando limitada capacidade de reposição a médio e longo prazo, as reduzidas quantidades de nutrientes em formas de disponibilidade intermediária, a redução nas formas trocáveis ao longo dos ciclos de cultivo, as alterações em outras características do solo relacionadas com sua fertilidade, como o aumento do  $\Delta pH$ , do Al trocável e do H + Al, associadas às elevadas quantidades de nutrientes exportadas das áreas a cada ciclo, indicam que programas de reposição de nutrientes diferentes dos utilizados até então serão necessários para que limitações nutricionais não venham a comprometer a sustentabilidade da produtividade das florestas de eucalipto nessa região.

## INTRODUÇÃO

No Brasil, áreas onde o eucalipto tem sido plantado só agora atingiram um número de ciclos de cultivo suficiente para que a alteração de algumas características edáficas possam ser detectadas. A retirada do sistema de quantidades significativas de nutrientes na madeira e o impacto físico sobre o solo causado pelo tráfego de máquinas durante o corte e baldeio da madeira têm sido considerados as principais causas da deterioração de fatores edáficos nessas áreas.

A introdução de materiais genéticos de maior potencial produtivo e, conseqüentemente, com maior demanda nutricional também deve estar contribuindo para a aceleração da degradação química desses solos, dada a estreita relação entre produtividade e conteúdo de nutrientes na biomassa (Miller, 1984; Khanna & Ulrich, 1984; Herbert & Robertson, 1991; Novais & Barros, 1997). Assim, o conhecimento da magnitude de

possíveis deteriorações, da cronologia de sua ocorrência e das relações entre níveis de disponibilidade desses fatores e a produtividade florestal é fundamental para a definição de práticas de manejo que objetivam a manutenção e melhoria da qualidade do solo ao longo dos ciclos, necessárias à máxima produtividade econômica, de modo sustentável.

A melhoria significativa na qualidade do material genético utilizado nos plantios de eucalipto deve ter contribuído para que efeitos da possível deterioração de características edáficas, ao longo dos ciclos de cultivo, sobre a perda de produtividade da floresta ainda não tenham sido corretamente diagnosticados. Além disso, o aperfeiçoamento de técnicas de manejo (espaçamento de plantio, controle de plantas daninhas, preparo de solo, adubação, etc.) também contribuiu para ganhos de produtividade nesse período, amenizando, temporariamente, possíveis perdas de produtividade causadas pela perda da qualidade de fatores edáficos. Portanto, diagnósticos a respeito da sustentabilidade dos sistemas, realizados somente com base na evolução da produtividade, não devem ser definitivos. Nambiar (1996) relata que a produtividade de *Pinus radiata* na Austrália aumentou 40% na segunda rotação, devido à combinação do uso de melhoramento genético, de técnicas de cultivo e de controle de plantas daninhas e de aplicação de fertilizantes.

No Vale do Rio Doce, em Minas Gerais, situado em região com predomínio de solos altamente intemperizados e de relevo movimentado (ondulado a forte ondulado), a preocupação com a deterioração do fator edáfico, seu monitoramento e a adoção de práticas de manejo que venham impedir ou minimizar sua degradação deverão ser fundamentais para a manutenção da sustentabilidade da produção florestal nessa região.

Estudos realizados nessa região, como os de Santos et al. (1998) e Amaral (1999), fundamentam essas preocupações. Santos et al. (1998), avaliando o potencial de reserva de nutrientes de alguns solos dessa região, concluíram que: (a) os solos apresentam avançado estágio de intemperismo, com a concentração predominantemente de argilominerais

1:1 (caulinita) e óxidos de ferro e de alumínio (gibbsita, hematita, goethita e maghemita); (b) a reserva mineral de potássio de médio e longo prazo é praticamente inexistente; e (c) as relações Ca-trocável/Ca-total e Mg-trocável/Mg-total indicam baixa capacidade de reposição desses nutrientes pelos solos. Amaral (1999), avaliando características físicas e químicas de solos da Zona Metalúrgica Mineira, a qual está inserida na bacia do Rio Doce, e a capacidade de suprimento de nutrientes pelo solo, constatou que a reserva de Ca nos solos era inexpressiva; que o teor de K total no LV e no LV (perférico) é praticamente nulo e nos demais solos é muito limitado; e que o Mg total seguiu a mesma tendência do K, porém com reserva inferior.

Uma das formas de quantificar o impacto do cultivo do eucalipto sobre características edáficas é por meio da avaliação comparativa dessas características em solos cultivados com eucalipto com aquelas de solos de áreas vizinhas, nas quais o uso atual é o mesmo que ocorria antes dos plantios de eucalipto (Fonseca et al., 1993; Pereira et al., 1996; Herbert, 1996). No Vale do Rio Doce, o uso predominante do solo nas áreas atualmente com eucalipto era o de pastagens e o de floresta nativa, condições que servem de referência, pois nelas o solo está mais próximo de sua condição natural do que nas áreas atualmente com eucalipto, além de representarem a alternativa histórica de uso do solo na região.

No que se refere às características avaliadas para determinar o efeito do cultivo do eucalipto sobre o solo, principalmente aquelas relacionadas à fertilidade, ainda há incertezas quanto à sua validade como indicadoras, uma vez que na avaliação da fertilidade do solo para uso florestal têm sido utilizados os mesmos extratores químicos desenvolvidos para solos agrícolas. Uma alternativa para a avaliação desse efeito é por meio do fracionamento de diferentes formas dos elementos essenciais. Neste caso, têm-se informações a respeito de formas passíveis de alteração ao longo do tempo, com o uso do solo. Desse modo, até que se conheçam as formas que melhor se correlacionem com o que é realmente



disponível para o eucalipto, a avaliação das diferentes formas (fracionamento) parece ser uma boa alternativa para esse fim. No caso do P, o fracionamento também deverá diagnosticar as formas orgânicas deste elemento, dadas as suas significativas contribuições na composição do P total do solo (Condrón et al., 1990; Machado et al., 1993; Guerra et al., 1996). Em solos florestais, Marschner (1995) acredita que a contribuição das formas orgânicas seja ainda maior do que em solos agrícolas.

Algumas alterações já relatadas em características químicas do solo em função de seu cultivo com eucalipto são: redução do pH (Rhoades & Binkley, 1996), da CTC dependente de pH e da saturação por bases; aumento do Al trocável (Pereira et al., 1996; Herbert, 1996); e alteração na dinâmica da matéria orgânica (Gama-Rodrigues, 1997). Algumas práticas de manejo, como a queima de resíduos, o descasque da madeira fora da área de cultivo, a utilização de técnicas de baldeio concentrando a serapilheira em certos locais nos talhões, a utilização de rotações curtas e o cultivo de materiais pouco eficientes nutricionalmente, contribuem para acelerar essas alterações. Características referentes à microbiota desses solos também podem ser alteradas, como a biomassa, a diversidade e a relação C microbiano:C solo (Gama-Rodrigues, 1997; Carvalho et al., 1997). Alterações de características físicas e hídricas dos solos em florestas comerciais também são comuns, principalmente quando a mecanização de atividades silviculturais, de corte e baldeio, é realizada de modo intensivo, desconsiderando a capacidade de suporte de carga dos solos (Dias Junior, 2000). Dentre elas, pode haver: redução nas taxas de infiltração básica, aumento da densidade do solo, decréscimo na estabilidade dos agregados e aumento da repelência à água na camada superficial do solo (Lira Filho et al., 1995; Pereira et al., 1996; Herbert, 1996). Essas alterações deverão ter efeito indireto sobre o aproveitamento dos nutrientes disponíveis, uma vez que o seu transporte até as raízes é dependente de características físicas e hídricas dos solos.

Em algumas áreas com monocultura de coníferas na África do Sul, Austrália e Nova Zelândia, as produtividades obtidas na segunda rotação têm sido menores que na primeira (McColl & Powers, 1984). Essa queda de produtividade tem sido atribuída à deterioração da qualidade de propriedades do solo (Alfredsson et al., 1998).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do cultivo sucessivo do eucalipto em algumas características edáficas relacionadas à fertilidade de solos da região do Vale do Rio Doce-MG.

## MATERIAL E MÉTODOS

Em cinco locais dos principais ambientes edafoclimáticos cultivados com eucalipto na região do Vale do Rio Doce-MG (Quadro 1), com cultivo de eucalipto por, no mínimo, três ciclos (mais de 21 anos), foram selecionadas áreas onde esses povoamentos estivessem lado a lado com áreas de pastagem e de floresta nativa. No ano de 1998, em cada um desses cinco locais, em uma área de aproximadamente 3 ha, em cada uma das quatro situações avaliadas (eucalipto próximo à floresta nativa, eucalipto próximo à pastagem, floresta nativa e pastagem), foram coletadas seis amostras compostas de solo, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm. Nessas amostras, procedeu-se às análises: pH em água e em KCl;  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; K, P, Zn, Cu, Fe e Mn disponíveis, pelo Mehlich-1; B, extraído com água quente; H + Al, com  $\text{NH}_4\text{OAC}$  1 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0; e carbono orgânico por oxidação da matéria orgânica pelo método de Walkley-Black (EMBRAPA, 1979). Em quatro das seis amostras compostas, de cada local, situação e profundidade, determinaram-se as formas orgânicas e inorgânicas de P pelo fracionamento de Hedley et al. (1982), modificado por Beck & Sanchez (1994). Nessas mesmas amostras, também foram determinados K, Ca e Mg em extratos obtidos com o ataque sulfúrico (Vettori, 1969) e com ácido nítrico fervente

2 mol L<sup>-1</sup> (Pratt & Morse, 1954, citados por Lanyon & Heald, 1986). Os resultados obtidos foram submetidos a contrastes ortogonais entre as situações posicionadas lado a lado (eucalipto e pastagem, e eucalipto e floresta nativa).

Quadro 1. Características das áreas e dos povoamentos de eucalipto estudados

Município	Lat.(w)	Long.(s)	Altitude	Solo	Clima	Ano do início do plantio de eucalipto	Produtividade do eucalipto
			m				m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>
Ferros	42°48′	19°22′	930	LVA	Cwb	1974	32
Belo Oriente	42°24′	19°14′	280	LVA	Aw	1977	26
Guanhães	42°57′	18°40′	850	LVA	Cwa	1977	36
Santa Bárbara	43°23′	19°59′	750	CX	Cwa	1969	30
Virginópolis	42°41′	18°42′	870	LV	Cwa	1975	42

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de K disponível (K-Mehlich-1), que para solos muito intemperizados podem ser considerados semelhantes aos teores de K trocável (Gasparini, 1994), são significativamente menores no solo sob eucalipto, em comparação à pastagem, em quatro das cinco áreas (Quadro 2), indicando que as elevadas quantidades exportadas no tronco (Quadro 3) podem se refletir em reduções significativas na forma trocável deste elemento no solo, para o sistema de manejo da floresta que foi utilizado nessa região. O K extraído pelo HNO<sub>3</sub> também mostrou a mesma

tendência de comportamento (Quadro 4). Este comportamento, associado aos teores reduzidos de formas mais “estáveis” de K, obtidas pelo ataque sulfúrico (Quadro 4), as quais apresentam correlação significativa com o K total no solo (Amaral, 1999), indica que a reposição deste nutriente como fertilizante é indispensável à sustentabilidade do sistema de produção de madeira nesses solos.

O Ca e o Mg comportaram-se de modo semelhante ao K, embora com reduções maiores que as observadas para este nutriente (Quadro 2). As reduções nas formas trocáveis de K, Ca e Mg com o cultivo do eucalipto nesses solos refletem o balanço negativo entre entradas e saídas desses nutrientes do sistema. No entanto, a concentração de P disponível (Mehlich-1) aumentou nas áreas com eucalipto, em virtude da fertilização fosfatada utilizada, proporcionando balanço positivo entre o adicionado e o exportado (Quadro 3).

Os teores de matéria orgânica foram consideravelmente maiores no solo com eucalipto, quando comparados com os da área com pastagem (Quadro 2). A grande quantidade de resíduos produzidos pela floresta (folhas, galhos e casca) que permanecem nas áreas é, certamente, a principal causa desse fato. A quantidade de serapilheira nas florestas com sete anos é de, aproximadamente, 17,0, 20,0 e 35,0 t ha<sup>-1</sup> nas regiões de Belo Oriente, Santa Bárbara e Guanhães, respectivamente. Apesar dessa quantidade elevada, a taxa de decomposição desse material deve ser baixa, em razão do baixo conteúdo de nutrientes na serapilheira e nos solos; das propriedades físico-químicas da serapilheira e do “litter”, como elevadas concentrações de polifenóis e lignina; e da baixa diversidade e densidade de organismos decompositores encontrados nesses ambientes (O’Connell & Sankaran, 1997).

Quadro 2. Características químicas de amostras de solo, em diferentes profundidades, coletadas em áreas cultivadas com eucalipto ou com pastagem, em cinco áreas do Vale do Rio Doce, com respectivas significâncias dos contrastes entre os valores

Área	Profundidade	Eucalipto/pastagem											
		pH-H <sub>2</sub> O	pH-KCl	Δ pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	Sb	CTC efet.
					g kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>			Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				
cm													
Ferros	0-10	4,86/5,26**	4,27/4,35*	-0,59/-0,91**	34,5/30,5 <sup>ns</sup>	2,25/1,73*	23,2/28,8**	0,09/0,48**	0,07/0,25*	0,96/0,69 <sup>ns</sup>	6,2/5,9 <sup>ns</sup>	0,24/0,81**	1,19/1,50 <sup>o</sup>
	10-20	4,83/5,19**	4,35/4,39 <sup>ns</sup>	-0,49/-0,08**	26,0/22,0 <sup>o</sup>	1,64/1,17*	17,5/21,5 <sup>o</sup>	0,04/0,23**	0,05/0,13**	0,74/0,73 <sup>ns</sup>	6,7/5,0 <sup>ns</sup>	0,15/0,42**	0,89/1,15*
	20-40	4,89/5,12**	4,41/4,45 <sup>ns</sup>	-0,48/-0,67**	18,3/13,8 <sup>ns</sup>	0,75/0,67 <sup>ns</sup>	11,0/15,6**	0,02/0,10**	0,03/0,06**	0,63/0,52 <sup>ns</sup>	4,0/3,7 <sup>ns</sup>	0,09/0,20**	0,72/0,72 <sup>ns</sup>
	40-60	4,91/5,06*	4,45/4,48 <sup>ns</sup>	-0,46/-0,58 <sup>ns</sup>	12,3/11,8 <sup>ns</sup>	0,47/0,54 <sup>ns</sup>	8,1/11,1*	0,01/0,09**	0,02/0,05 <sup>ns</sup>	0,57/0,45 <sup>ns</sup>	3,3/3,2 <sup>ns</sup>	0,06/0,17**	0,64/0,63 <sup>ns</sup>
Belo Oriente	0-10	4,56/4,95**	4,06/4,13 <sup>ns</sup>	-0,5/-0,83**	20,0/23,1 <sup>ns</sup>	2,73/1,42*	14,5/58,8**	0,80/0,93 <sup>ns</sup>	0,07/0,62**	1,00/0,63 <sup>ns</sup>	5,1/4,5 <sup>ns</sup>	0,94/1,72*	1,93/2,35 <sup>ns</sup>
	10-20	4,46/4,79**	4,03/4,03 <sup>ns</sup>	-0,43/-0,76**	16,9/15,5 <sup>ns</sup>	1,32/0,93*	10,2/32,0**	0,24/0,63**	0,03/0,35**	1,13/0,82 <sup>o</sup>	4,6/4,2 <sup>ns</sup>	0,30/1,09**	1,43/1,91*
	20-40	4,44/4,78**	4,07/4,02 <sup>ns</sup>	-0,37/-0,75**	12,6/10,8 <sup>ns</sup>	0,78/0,62 <sup>o</sup>	6,7/17,7**	0,08/0,52**	0,02/0,22**	1,19/0,79*	4,2/3,7 <sup>ns</sup>	0,12/0,80**	1,31/1,59 <sup>o</sup>
	40-60	4,53/4,85**	4,16/4,10 <sup>ns</sup>	-0,37/-0,75**	9,3/8,6 <sup>ns</sup>	0,62/0,31**	3,8/9,1*	0,08/0,41**	0,01/0,14**	0,90/0,74 <sup>ns</sup>	3,1/3,2 <sup>ns</sup>	0,10/0,58**	1,01/1,32*
Guanhães	0-10	4,45/4,88**	3,98/4,16**	-0,47/-0,73**	55,9/42,3**	2,86/2,46 <sup>ns</sup>	33,9/23,5**	0,11/0,44*	0,11/0,2 <sup>ns</sup>	2,73/1,67**	12,7/10,3**	0,33/0,88 <sup>o</sup>	3,06/2,39**
	10-20	4,57/4,83**	4,08/4,18**	-0,49/-0,65**	41,7/35,7 <sup>o</sup>	1,87/0,96**	27,7/19,0*	0,04/0,19*	0,07/0,11 <sup>ns</sup>	2,09/1,37**	11,5/9,2**	0,21/0,35 <sup>ns</sup>	2,30/1,73**
	20-40	4,46/4,85**	4,17/4,25**	-0,29/-0,59**	27,7/22,1**	0,68/0,31**	14,6/10,1 <sup>o</sup>	0,02/0,04**	0,03/0,03 <sup>ns</sup>	1,37/1,03**	8,8/7,0**	0,10/0,10 <sup>ns</sup>	1,47/1,13**
	40-60	4,38/4,72**	4,28/4,31 <sup>ns</sup>	-0,1/-0,40**	26,2/16,5**	0,24/0,11*	6,3/6,4 <sup>ns</sup>	0,02/0,02 <sup>ns</sup>	0,01/0,02 <sup>ns</sup>	0,96/0,61**	6,3/5,3**	0,05/0,06 <sup>ns</sup>	1,01/0,67**
Santa Bárbara	0-10	4,46/5,30**	3,76/4,17**	-0,7/-1,13**	28,3/21,0**	3,58/6,63 <sup>o</sup>	32,6/71,3*	0,09/0,48**	0,08/0,2**	2,08/0,61**	9,9/4,9**	0,26/0,88**	2,34/1,48**
	10-20	4,48/5,03**	3,86/4,01**	-0,62/-1,02**	19,5/17,7 <sup>ns</sup>	1,83/1,87 <sup>ns</sup>	20,1/32,5*	0,04/0,55**	0,05/0,19**	1,78/0,97**	8,4/5,8**	0,15/0,84**	1,93/1,80 <sup>ns</sup>
	20-40	4,55/4,79**	3,89/3,98**	-0,67/-0,81**	13,5/13,2 <sup>ns</sup>	1,11/0,99 <sup>ns</sup>	13,0/19,5**	0,02/0,18**	0,06/0,09 <sup>ns</sup>	1,64/1,14**	6,6/5,4**	0,13/0,34**	1,77/1,48*
	40-60	4,65/4,79 <sup>o</sup>	3,93/4,02 <sup>ns</sup>	-0,72/-0,77 <sup>ns</sup>	5,9/10,6**	0,66/0,46 <sup>ns</sup>	10,8/13,1 <sup>ns</sup>	0,01/0,17**	0,08/0,04**	1,41/1,01**	5,3/4,4**	0,12/0,25**	1,53/1,27 <sup>o</sup>
Virginópolis	0-10	4,89/5,07 <sup>o</sup>	4,06/4,10 <sup>ns</sup>	-0,83/-0,97 <sup>o</sup>	52,1/36,8**	2,40/0,83**	24,1/34,8*	0,73/0,59 <sup>ns</sup>	0,24/0,31 <sup>ns</sup>	1,71/1,25*	10,8/8,4**	1,05/1,01 <sup>ns</sup>	2,76/2,26*
	10-20	4,77/4,95*	4,08/4,10 <sup>ns</sup>	-0,69/-0,84 <sup>ns</sup>	45,2/30,1**	1,88/0,46**	19,9/20,8 <sup>ns</sup>	0,25/0,4 <sup>ns</sup>	0,13/0,11 <sup>ns</sup>	1,88/1,33**	11,4/7,6**	0,43/0,57 <sup>ns</sup>	2,31/1,90**
	20-40	4,76/5,00*	4,11/4,15 <sup>ns</sup>	-0,65/-0,85 <sup>ns</sup>	33,1/19,9**	1,20/0,35**	13,2/15 <sup>ns</sup>	0,09/0,22 <sup>o</sup>	0,07/0,07 <sup>ns</sup>	1,68/1,28**	9,9/6,0**	0,20/0,34 <sup>ns</sup>	1,88/1,62 <sup>o</sup>
	40-60	4,74/5,11**	4,16/4,21 <sup>o</sup>	-0,58/-0,9 <sup>ns</sup>	25,9/15,8**	0,56/0,12**	8,3/10,7 <sup>ns</sup>	0,05/0,16*	0,04/0,05 <sup>ns</sup>	1,37/1,17 <sup>o</sup>	7,7/5,0**	0,12/0,24 <sup>ns</sup>	1,49/1,41 <sup>ns</sup>
Média geral	0-10	4,64/5,09	4,02/4,18	-0,62/-0,91	38,2/30,7	2,76/2,61	25,7/43,5	0,36/0,58	0,11/0,32	1,69/0,97	8,9/6,8	0,56/1,06	2,26/2,00
	10-20	4,62/4,95	4,08/4,14	-0,54/-0,81	29,9/24,2	1,71/1,08	19,1/25,1	0,12/0,40	0,06/0,18	1,52/1,04	8,5/6,4	0,25/0,65	1,77/1,70
	20-40	4,62/4,91	4,13/4,17	-0,49/-0,73	21,0/16,0	0,90/0,59	11,7/15,6	0,05/0,21	0,04/0,10	1,30/0,95	6,7/5,2	0,13/0,36	1,43/1,31
	40-60	4,64/4,90	4,20/4,22	-0,44/-0,68	15,9/12,6	0,51/0,31	7,5/10,1	0,03/0,17	0,03/0,06	1,04/0,80	5,1/4,2	0,09/0,26	1,14/1,06

Continua...

Quadro 2, Cont.

Área	Profundidade	Eucalipto/pastagem								
		T	V	m	Zn	Cu	Fe	Mn	B	Ca/Al
	cm	Cmolc dm <sup>-3</sup>	%		mg dm <sup>-3</sup>					
Ferros	0-10	6,42/6,67 <sup>ns</sup>	3,7/12,1**	80,09/47,14**	0,51/0,80 <sup>ns</sup>	0,05/0,15 <sup>ns</sup>	60,5/74,6 <sup>ns</sup>	5,00/12,69**	0,25/0,29 <sup>ns</sup>	0,091/0,688**
	10-20	6,87/5,39 <sup>ns</sup>	2,6/7,7**	82,84/63,95**	0,39/0,52 <sup>ns</sup>	0,05/0,17 <sup>ns</sup>	57,3/82,1 <sup>ns</sup>	3,34/6,90**	0,22/0,21 <sup>ns</sup>	0,060/0,3100**
	20-40	4,09/3,89 <sup>ns</sup>	2,2/5,1**	87,12/72,51**	0,36/0,53*	0,04/0,30 <sup>ns</sup>	68,3/109,2 <sup>o</sup>	2,04/3,34*	0,18/0,18 <sup>ns</sup>	0,035/0,186**
	40-60	3,40/3,40 <sup>ns</sup>	1,9/5,0**	89,18/72,29**	0,58/0,58 <sup>ns</sup>	0,31/0,31 <sup>ns</sup>	115,0/90,5 <sup>ns</sup>	3,41/2,73 <sup>ns</sup>	0,14/0,12	0,022/0,189**
B. Oriente	0-10	5,99/6,19 <sup>ns</sup>	17,7/27,2 <sup>o</sup>	54,55/30,29 <sup>o</sup>	0,27/0,63**	0,63/1,60**	56,9/173,6**	5,36/30,46**	0,22/0,41**	0,805/1,462 <sup>ns</sup>
	10-20	4,86/5,30 <sup>ns</sup>	6,7/20,1**	78,51/45,71**	0,08/0,22**	0,53/1,71**	81,5/114,5 <sup>ns</sup>	2,60/14,67**	0,17/0,33**	0,213/0,769*
	20-40	4,28/4,47 <sup>ns</sup>	2,9/17,6**	91,03/52,34**	0,05/0,20**	0,51/1,86**	62,4/66,3 <sup>ns</sup>	2,36/8,73**	0,15/0,20 <sup>o</sup>	0,064/0,655*
	40-60	3,22/3,83*	3,3/15,1**	89,01/57,52**	0,05/0,16**	0,53/1,81**	48,4/52,3 <sup>ns</sup>	2,19/5,55**	0,12/0,19**	0,091/0,554*
Guanhães	0-10	13,03/11,16*	2,5/5,1**	89,23/70,59**	0,45/0,32**	0,12/0,04**	87,7/80,8 <sup>ns</sup>	7,52/6,13 <sup>ns</sup>	0,31/0,27 <sup>ns</sup>	0,041/0,26*
	10-20	11,72/9,57**	1,8/3,6**	91,07/81,35**	0,37/0,28**	0,14/0,00**	75,5/97,6 <sup>o</sup>	6,20/4,82 <sup>ns</sup>	0,22/0,2 <sup>ns</sup>	0,021/0,135*
	20-40	8,94/7,12**	1,1/1,5**	93,28/89,83**	0,46/0,24 <sup>ns</sup>	0,21/0,01**	71,7/71,5 <sup>ns</sup>	3,28/2,91 <sup>ns</sup>	0,13/0,16 <sup>ns</sup>	0,014/0,042**
	40-60	6,37/5,40**	0,8/1,0**	95,12/91,56**	0,03/0,20**	0,03/0,02 <sup>ns</sup>	83,6/51,6**	3,50/2,30 <sup>ns</sup>	0,11/0,1 <sup>ns</sup>	0,016/0,031*
Santa Bárbara	0-10	10,21/5,78**	2,6/14,7**	88,84/40,19**	0,58/0,96*	0,24/0,23 <sup>ns</sup>	96,9/89,7	7,28/9,42 <sup>ns</sup>	0,25/0,26 <sup>ns</sup>	0,041/0,798**
	10-20	8,50/6,61**	1,7/12,6**	92,30/53,80**	0,40/0,60**	0,20/0,23 <sup>ns</sup>	96,9/97,6	5,93/6,66 <sup>ns</sup>	0,20/0,23 <sup>ns</sup>	0,023/0,568**
	20-40	6,75/5,71*	1,9/5,9**	92,60/77,23**	0,38/0,44 <sup>ns</sup>	0,22/0,20 <sup>ns</sup>	115,8/83,3	3,68/4,23 <sup>ns</sup>	0,18/0,21 <sup>ns</sup>	0,015/0,159**
	40-60	5,41/4,61*	2,3/5,5**	91,84/79,91**	0,40/0,84**	0,21/0,28 <sup>ns</sup>	125,1/77,8	4,49/4,70 <sup>ns</sup>	0,11/0,14 <sup>ns</sup>	0,007/0,168**
Virginópolis	0-10	11,83/9,40**	8,9/11,0 <sup>ns</sup>	63,34/58,11 <sup>ns</sup>	0,29/0,15*	0,06/0,20*	57,5/99,0**	10,20/7,36 <sup>ns</sup>	0,23/0,45**	0,427/0,472 <sup>ns</sup>
	10-20	11,81/8,18**	3,6/7,0 <sup>o</sup>	82,34/71,44 <sup>ns</sup>	0,17/0,06*	0,11/0,13 <sup>ns</sup>	50,3/67,3 <sup>o</sup>	6,08/3,96*	0,24/0,35 <sup>ns</sup>	0,131/0,300 <sup>ns</sup>
	20-40	10,07/6,38**	2,0/5,4*	89,58/80,25	0,10/0,09 <sup>ns</sup>	0,15/0,22 <sup>ns</sup>	55,0/85,4**	3,54/3,17 <sup>ns</sup>	0,21/0,25 <sup>ns</sup>	0,054/0,174*
	40-60	7,79/5,20**	1,6/4,8*	91,89/83,89	0,04/0,06 <sup>ns</sup>	0,17/0,24 <sup>ns</sup>	50,2/74,0**	3,39/3,28 <sup>ns</sup>	0,14/0,20*	0,039/0,133*
Média geral	0-10	9,49/7,84	7,1/14,0	75,21/49,26	0,42/0,57	0,22/0,45	71,9/103,5	7,08/13,21	0,25/0,34	0,214/0,600
	10-20	8,75/7,01	3,3/10,2	85,41/63,25	0,28/0,33	0,21/0,45	72,3/91,8	4,83/7,40	0,21/0,26	0,081/0,382
	20-40	6,83/5,51	2,0/7,1	90,72/74,43	0,27/0,30	0,23/0,52	74,6/83,1	2,98/4,48	0,17/0,20	0,036/0,223
	40-60	5,24/4,49	2,0/6,3	91,41/77,03	0,22/0,37	0,25/0,53	84,5/69,3	3,40/3,71	0,12/0,15	0,033/0,211

\*\* , \* , ° , ns = Significativo a 1,0, 5,0, 10% e não-significativo, respectivamente.

Quadro 3. Quantidades de nutrientes exportadas no tronco e adicionadas ao sistema via fertilização em áreas cultivadas com eucalipto durante (somatório) três ciclos, em áreas do Vale do Rio Doce

Área	Quantidade exportada no tronco					Adicionado via fertilização					Diferença (adicionado - exportado)				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
	kg ha <sup>-1</sup>														
Ferros	367,5	25,8	253,2	257,7	60,0	127,5	61,0	105,4	40,9	0,0	-240,0	35,2	-147,7	-216,7	-60,0
Belo Oriente	342,3	32,7	273,3	543,6	64,2	127,5	61,0	105,4	40,9	0,0	-214,8	28,3	-167,8	-502,6	-64,2
Guanhães	563,1	29,1	387,6	502,2	78,6	127,5	61,0	105,4	40,9	0,0	-435,6	31,9	-282,1	-461,2	-78,6
Santa Bárbara	398,4	24,9	309,9	307,8	53,4	127,5	61,0	105,4	40,9	0,0	-237,1	36,1	-204,4	-266,8	-53,4
Virginópolis	687,9	37,2	457,5	923,4	124,2	127,5	61,0	105,4	40,9	0,0	-560,4	23,8	-352,0	-882,4	-124,2

Quadro 4. Concentrações de formas disponíveis/trocáveis mais as de disponibilidade intermediária (extraídas com HNO<sub>3</sub>) e formas “estáveis” (obtidas em extrato do ataque sulfúrico) de K, Ca e Mg em amostras de solos, em diferentes profundidades, coletadas em áreas cultivadas com eucalipto ou com pastagem, em cinco áreas do Vale do Rio Doce, com respectivas significâncias dos contrastes entre os valores

Área	Profundidade	Eucalipto/pastagem					
		K-(HNO <sub>3</sub> )		Ca-(HNO <sub>3</sub> )		Mg-(HNO <sub>3</sub> )	
		mg dm <sup>-3</sup>		Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
Ferros	0-10	34,6/28,2 <sup>O</sup>	78,0/84,3	0,169/0,609**	0,513/0,968	0,064/0,182**	0,463/0,765
	10-20	23,5/23,2 <sup>ns</sup>	99,8/81,2	0,071/0,201**	0,494/0,576	0,024/0,053 <sup>ns</sup>	0,918/0,518
	20-40	15,6/19,2 <sup>ns</sup>	72,4/95,8	0,035/0,101**	0,197/0,572	0,002/0,022 <sup>ns</sup>	0,675/0,446
	40-60	9,9/13,6**	90,6/81,2	0,018/0,053**	0,274/0,155	0,001/0,005*	0,279/0,083
Belo Oriente	0-10	23,3/38,7**	49,8/55,4	1,188/1,459 <sup>ns</sup>	0,327/0,766	0,165/0,836**	0,440/1,627
	10-20	14,7/40,2*	62,2/50,3	0,569/0,937 <sup>ns</sup>	0,556/0,467	0,085/0,432**	0,758/1,108
	20-40	13,1/17,9 <sup>ns</sup>	37,3/87,1	0,228/0,481*	0,184/0,122	0,065/0,205**	0,001/0,200
	40-60	7,6/12,4**	24,9/99,5	0,131/0,340**	0,087/0,161	0,038/0,113**	0,079/0,409
Guanhães	0-10	44,1/26,9**	203,7/366,7	0,379/2,469 <sup>ns</sup>	1,043/4,088	0,167/0,509 <sup>ns</sup>	2,721/4,981
	10-20	38,5/19,2**	117,8/430,0	0,278/0,681 <sup>ns</sup>	0,865/1,240	0,133/0,165 <sup>ns</sup>	1,615/3,175
	20-40	22,1/11,6*	114,7/379,4	0,096/0,097 <sup>ns</sup>	0,709/2,204	0,070/0,057 <sup>ns</sup>	1,837/3,949
	40-60	10,0/12,3 <sup>ns</sup>	111,6/392,0	0,064/0,040 <sup>ns</sup>	0,019/6,079	0,052/0,042 <sup>ns</sup>	0,626/7,529
Santa Bárbara	0-10	48,5/62,6*	1753,2/396,2	0,150/1,611**	0,203/1,808	0,125/0,304**	2,442/1,658
	10-20	42,7/45,6 <sup>ns</sup>	1669,9/1075,9	0,074/0,716**	0,015/0,67	0,082/0,190*	2,282/3,552
	20-40	34,9/42,8 <sup>ns</sup>	2351,3/1016,6	0,045/0,246**	0,228/0,157	0,053/0,050 <sup>ns</sup>	4,180/3,279
	40-60	43,8/30,4 <sup>O</sup>	2369,6/427,3	0,031/0,221**	0,335/0,318	0,054/0,015 <sup>O</sup>	3,943/1,835
Virginópolis	0-10	38,6/42,3 <sup>ns</sup>	112,5/136,9	3,620/0,663 <sup>O</sup>	2,408/0,758	0,337/0,223 <sup>ns</sup>	2,218/1,406
	10-20	35,2/37,1 <sup>ns</sup>	121,9/130,6	0,674/0,640 <sup>ns</sup>	1,070/0,393	0,175/0,116 <sup>ns</sup>	1,685/1,088
	20-40	23,1/25,0 <sup>ns</sup>	121,9/121,6	0,433/0,302 <sup>ns</sup>	1,280/0,345	0,143/0,065 <sup>O</sup>	2,311/0,902
	40-60	15,9/23,5 <sup>O</sup>	121,9/137,3	0,165/0,284 <sup>ns</sup>	0,890/0,218	0,083/0,065 <sup>ns</sup>	1,441/0,968
Média geral	0-10	37,8/39,7	439,4/207,9	1,101/1,362	0,896/1,678	0,172/0,411	1,657/2,087
	10-20	30,9/33,1	414,3/353,6	0,333/0,635	0,427/0,669	0,100/0,191	1,452/1,888
	20-40	21,8/23,3	656,3/340,1	0,167/0,245	0,600/0,680	0,066/0,080	2,082/1,755
	40-60	17,4/18,4	543,7/227,5	0,082/0,188	0,321/1,386	0,045/0,048	1,273/2,165

\*\* , \* , <sup>O</sup> , <sup>ns</sup> = Significativo a 1,0, 5,0, 10% e não-significativo, respectivamente.



O cultivo do eucalipto, comparado ao da pastagem, causou reduções significativas no pH em H<sub>2</sub>O e em KCl, ou seja, aumentos significativos na acidez ativa do solo nas quatro profundidades amostradas (Quadro 2). Rhoades & Binkley (1996) constataram redução do pH do solo de 5,9 para 5,0 após oito anos de seu cultivo com *E. saligna*. Os valores de  $\Delta$  pH (pH KCl - pH em água) também aumentaram nas áreas com eucalipto, comparativamente às áreas de pastagem (Quadro 2), indicando que a quantidade de cargas positivas nos solos com eucalipto aumentou, apesar do aumento do teor de matéria orgânica. Esse fato poderá comprometer a qualidade do solo, tanto pela redução na capacidade de retenção de cátions, como também pela possibilidade de aumento na capacidade de fixação de ânions como o fosfato e o sulfato (Sanchez & Uehara, 1980).

Os teores de Al<sup>3+</sup> e de H + Al aumentaram nas áreas com eucalipto em todas as profundidades amostradas, como consequência da redução significativa de bases (Quadro 2).

O desbalanço entre cátions e ânions que ocorre em função de processos como a mineralização ou a absorção de nutrientes leva à produção ou ao consumo de prótons (Khanna & Ulrich, 1984). O desacoplamento (dessincronização) desses processos (mineralização e absorção) pode levar à acidificação, o que pode ser um fato importante na estabilidade de ecossistemas florestais, a longo prazo (Khanna & Ulrich, 1984).

Os valores da relação Ca<sup>2+</sup>/Al<sup>3+</sup> foram menores nas áreas de eucalipto, quando comparados à área de pastagem (Quadro 2). Esse comportamento indica, entre outros aspectos, que o novo ambiente formado poderá ser menos favorável ao crescimento de raízes finas do que o existente anteriormente (Khanna & Ulrich, 1984), quando o solo era cultivado com pastagem.

Os teores de Zn, Cu, Fe, Mn e B disponíveis também decresceram na maioria dos locais estudados, em todas as profundidades avaliadas (Quadro 2), indicando que a exportação desses nutrientes pelo tronco não foi reposta ao sistema em quantidade equivalente às existentes

anteriormente, indicando a possibilidade de futuros problemas no suprimento desses nutrientes.

O comportamento do P, K, Ca e Mg no solo, nas áreas de eucalipto, comparativamente ao das florestas nativas, foi o mesmo observado para as áreas de eucalipto versus pastagem, ou seja, os teores de P (Mehlich-1) aumentaram, e os de K, Ca e Mg trocáveis diminuíram nos solos com eucalipto, em relação aos das áreas de floresta nativa (Quadro 5). Todavia, em muitos casos essas diferenças não foram estatisticamente significativas, indicando que o impacto do eucalipto sobre a fertilidade do solo nessa comparação foi menor que o observado na comparação com a pastagem.

Esse fato confirma a constatação de que a maior parte dos nutrientes em ecossistemas com florestas nativas em regiões tropicais acha-se armazenada na biomassa viva e morta da floresta. Os solos, nestes ambientes, são de baixa fertilidade natural, atuando mais como sustentação mecânica à floresta do que como reservatório de nutrientes (Jansen, 1973). Portanto, a exuberância apresentada por essas florestas não é necessariamente uma consequência da fertilidade do solo, sendo, na maioria dos casos, garantida pela eficiente (re)ciclagem e pelo acúmulo dos nutrientes mais escassos nas fitomassas viva e morta do sistema (Jansen, 1973).

O comportamento observado nos solos nas áreas de pastagem (a maioria delas encontrando-se em estado de degradação) pode ser explicado pela baixíssima produtividade obtida pelas gramíneas cultivadas na região e, conseqüentemente, pela menor exportação e, ou, pelo menor acúmulo de nutrientes nos componentes da biomassa desse sistema. Quando se compara a produtividade média do capim-gordura (*Melinis minutiflora*), principal gramínea da região, de 5,0 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Empresa... - EMBRAPA, 1983), com as produtividades das florestas de eucalipto, 12,0 a 20,0 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de madeira, tem-se um indicativo de que, para manutenção da sustentabilidade desse sistemas, a demanda por nutrientes deverá ser um pouco maior no caso das áreas com eucalipto.

A soma de bases, a saturação por bases e a CTC efetiva e total apresentaram valores absolutos menores nas áreas de eucalipto em relação à floresta nativa; entretanto, essas diferenças, na maioria dos casos, também não foram significativas (Quadro 5). No entanto, o aumento na saturação por Al foi bem menor do que o ocorrido na comparação eucalipto versus pastagem. Os teores de  $Al^{3+}$  e de  $H + Al$  no solo da área de cultivo do eucalipto em relação à floresta nativa, exceto para Virginópolis, diminuíram, indicando que possíveis efeitos negativos ocasionados pelo cultivo do eucalipto em relação a essas características também ocorrem nas áreas de floresta nativa. Nas áreas com eucalipto ao lado de floresta nativa, também houve redução nos valores de pH, porém a magnitude desses decréscimos foi bem menor que a verificada na comparação eucalipto versus pastagem, indicando que os fatores que controlam a acidez ativa do solo devem ser bem semelhantes entre os dois tipos de florestas (eucalipto e nativa) (Quadro 5). Os valores de  $\Delta pH$ , apesar de em menor magnitude do que aquela observada no solo com eucalipto, comparado ao solo com pastagem, também aumentaram na área de eucalipto, quando comparada à área de floresta nativa. Costa et al. (1984) encontraram menor quantidade de cargas negativas líquidas em solo cultivado com eucalipto do que em solo com floresta nativa, em um Latossolo na região de Viçosa-MG.

Quadro 5. Características químicas de amostras de solo, em diferentes profundidades, coletadas em áreas cultivadas com eucalipto ou com floresta nativa, em cinco áreas do Vale do Rio Doce, com respectivas significâncias dos contrastes entre os valores

Área	Profundidade	Eucalipto/floresta nativa											
		pH-H <sub>2</sub> O	pH-KCl	Δ pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Sb	CTC efet.
		g kg <sup>-1</sup>				mg dm <sup>-3</sup>		Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					
cm													
Ferros	0-10	4,97/5,32**	4,16/4,16 <sup>ns</sup>	-0,81/-1,16**	48,8/58,3**	2,71/1,40**	28,6/33,3*	0,09/0,11 <sup>ns</sup>	0,13/0,13 <sup>ns</sup>	1,38/1,76*	9,2/10,7*	0,32/0,35 <sup>ns</sup>	1,70/2,11*
	10-20	4,96/5,41**	4,24/4,28 <sup>ns</sup>	-0,72/-1,13**	35,4/45,8**	1,52/0,94**	22,8/28,3*	0,05/0,05 <sup>ns</sup>	0,09/0,07 <sup>o</sup>	1,01/1,25*	6,8/8,2 <sup>ns</sup>	0,22/0,22 <sup>ns</sup>	1,24/1,47*
	20-40	4,98/5,45**	4,47/4,4 <sup>ns</sup>	-0,52/-1,05**	19,8/33,5**	0,49/0,56 <sup>ns</sup>	11,8/18,5**	0,01/0,02 <sup>ns</sup>	0,04/0,05 <sup>ns</sup>	0,54/0,93**	3,9/6,3**	0,10/0,13 <sup>ns</sup>	0,64/1,06**
	40-60	4,94/5,33**	4,6/4,55 <sup>ns</sup>	-0,35/-0,78**	14,8/19,5*	0,32/0,32 <sup>ns</sup>	4,9/10,8**	0,01/0,01 <sup>ns</sup>	0,03/0,03 <sup>ns</sup>	0,33/0,51**	3,1/4,2**	0,06/0,07 <sup>ns</sup>	0,39/0,58 <sup>o</sup>
Belo Oriente	0-10	4,08/4,35*	3,75/3,84 <sup>ns</sup>	-0,33/-0,51*	24,3/35,0**	3,01/1,78 <sup>o</sup>	28,6/33,6 <sup>ns</sup>	0,12/0,06 <sup>ns</sup>	0,09/0,11 <sup>ns</sup>	1,82/1,87 <sup>ns</sup>	8,4/9,5 <sup>ns</sup>	0,30/0,27 <sup>ns</sup>	2,12/2,14 <sup>ns</sup>
	10-20	4,13/4,32*	3,86/3,88 <sup>ns</sup>	-0,27/-0,44*	17,5/25,8**	2,01/1,31**	19,5/26,2 <sup>ns</sup>	0,05/0,05 <sup>ns</sup>	0,05/0,08 <sup>ns</sup>	1,61/1,72 <sup>ns</sup>	6,4/8,3**	0,17/0,20 <sup>ns</sup>	1,77/1,93 <sup>ns</sup>
	20-40	4,16/4,45**	3,94/3,96 <sup>ns</sup>	-0,22/-0,49**	14,7/18,0*	1,29/0,75**	11,5/21,3*	0,03/0,04 <sup>ns</sup>	0,03/0,06 <sup>ns</sup>	1,40/1,37 <sup>ns</sup>	4,6/5,9*	0,10/0,16 <sup>ns</sup>	1,49/1,53 <sup>ns</sup>
	40-60	4,21/4,59**	4,03/4,08 <sup>ns</sup>	-0,18/-0,52**	10,7/13,3*	0,91/0,44**	6,6/12,1**	0,02/0,07 <sup>ns</sup>	0,02/0,04 <sup>ns</sup>	1,28/1,09 <sup>ns</sup>	3,6/4,4*	0,08/0,14 <sup>ns</sup>	1,36/1,24 <sup>ns</sup>
Guanhães	0-10	4,33/4,65**	3,83/3,94*	-0,49/-0,72**	48,2/54,7 <sup>ns</sup>	2,02/1,52 <sup>ns</sup>	37,2/38,2 <sup>ns</sup>	0,08/0,07 <sup>ns</sup>	0,12/0,09 <sup>ns</sup>	2,09/2,03 <sup>ns</sup>	14,5/14,5 <sup>ns</sup>	0,32/0,29 <sup>ns</sup>	2,41/2,32 <sup>ns</sup>
	10-20	4,39/4,74**	4,00/4,06*	-0,4/-0,69**	33,3/43,4**	0,92/0,85 <sup>ns</sup>	23/26,7 <sup>ns</sup>	0,02/0,02 <sup>ns</sup>	0,05/0,06 <sup>ns</sup>	1,39/1,42 <sup>ns</sup>	10,6/11,4 <sup>ns</sup>	0,14/0,17 <sup>ns</sup>	1,53/1,59 <sup>ns</sup>
	20-40	4,33/4,81**	4,12/4,17**	-0,21/-0,64**	23,9/29,7**	0,42/0,41 <sup>ns</sup>	13,2/14 <sup>ns</sup>	0,01/0,01 <sup>ns</sup>	0,03/0,03 <sup>ns</sup>	0,93/0,94 <sup>ns</sup>	7,8/8,6*	0,08/0,10 <sup>o</sup>	1,01/1,04 <sup>ns</sup>
	40-60	4,22/4,86**	4,21/4,25**	-0,01/-0,62**	17,7/21,8 <sup>o</sup>	0,15/0,19 <sup>ns</sup>	8,8/9,8 <sup>ns</sup>	0,01/0,02 <sup>ns</sup>	0,02/0,02 <sup>ns</sup>	0,60/0,57 <sup>ns</sup>	5,5/6,3**	0,06/0,08*	0,66/0,65 <sup>ns</sup>
Santa Bárbara	0-10	4,53/4,55 <sup>ns</sup>	3,96/3,84*	-0,57/-0,7*	23,6/28,4 <sup>o</sup>	1,85/2,75 <sup>ns</sup>	25,8/38,9 <sup>ns</sup>	0,04/0,12 <sup>ns</sup>	0,05/0,12 <sup>ns</sup>	1,94/2,40**	7,5/8,7*	0,17/0,35 <sup>ns</sup>	2,10/2,74**
	10-20	4,57/4,57 <sup>ns</sup>	3,99/3,92**	-0,58/-0,65 <sup>ns</sup>	19,0/22,2*	0,97/1,80**	18,5/27,3 <sup>o</sup>	0,03/0,07 <sup>ns</sup>	0,04/0,07 <sup>o</sup>	1,92/2,29**	6,9/7,3 <sup>ns</sup>	0,12/0,22 <sup>o</sup>	2,04/2,51**
	20-40	4,65/4,60 <sup>ns</sup>	4,05/3,91**	-0,6/-0,69 <sup>o</sup>	15,3/15,5 <sup>ns</sup>	0,32/0,80**	9,6/16,5**	0,02/0,03 <sup>ns</sup>	0,02/0,04 <sup>ns</sup>	1,57/1,74 <sup>ns</sup>	5,5/5,9 <sup>ns</sup>	0,07/0,12*	1,64/1,86 <sup>o</sup>
	40-60	4,76/4,79 <sup>ns</sup>	4,09/3,95**	-0,67/-0,84**	11,2/8,9 <sup>o</sup>	0,08/0,37 <sup>o</sup>	7,1/10,7*	0,02/0,02 <sup>ns</sup>	0,02/0,02 <sup>ns</sup>	1,44/1,30 <sup>ns</sup>	4,4/4,4 <sup>ns</sup>	0,06/0,09 <sup>ns</sup>	1,50/1,39 <sup>ns</sup>
Virginópolis	0-10	4,74/5,16**	4,01/4,11**	-0,73/-1,04**	62,7/59,0*	2,33/1,43**	22,1/33,2*	0,05/0,67*	0,05/0,35	2,20/1,50**	11,2/10,1 <sup>ns</sup>	0,19/1,13**	2,40/2,63 <sup>ns</sup>
	10-20	4,71/5,13**	4,11/4,16**	-0,61/-0,97 <sup>ns</sup>	49,3/45,0 <sup>ns</sup>	1,68/1,23 <sup>ns</sup>	18,3/23,8 <sup>ns</sup>	0,02/0,30 <sup>o</sup>	0,05/0,16	1,93/1,43**	9,9/8,7**	0,14/0,55*	2,07/1,97 <sup>ns</sup>
	20-40	4,78/5,14**	4,20/4,25 <sup>o</sup>	-0,58/-0,9 <sup>ns</sup>	39,3/33,7 <sup>o</sup>	1,10/0,66 <sup>o</sup>	12,3/13,3 <sup>ns</sup>	0,01/0,12 <sup>ns</sup>	0,04/0,08	1,38/1,07**	7,6/7,1 <sup>ns</sup>	0,09/0,25 <sup>ns</sup>	1,48/1,32 <sup>ns</sup>
	40-60	4,98/5,16*	4,26/4,30 <sup>o</sup>	-0,72/-0,86 <sup>ns</sup>	30,8/25,8*	0,71/0,48*	8,1/9,8 <sup>ns</sup>	0,01/0,07 <sup>ns</sup>	0,02/0,06	1,06/0,93 <sup>ns</sup>	6,3/5,6 <sup>ns</sup>	0,07/0,17 <sup>ns</sup>	1,13/1,10 <sup>ns</sup>
Média geral	0-10	4,53/4,81	3,94/3,98	-0,59/-0,83	41,5/47,1	2,38/1,77	28,4/35,4	0,08/0,21	0,09/0,16	1,89/1,91	10,1/10,7	0,26/0,48	2,15/2,39
	10-20	4,55/4,83	4,04/4,06	-0,51/-0,77	30,9/36,5	1,42/1,23	20,4/26,5	0,03/0,10	0,06/0,09	1,57/1,62	8,2/8,8	0,16/0,27	1,73/1,90
	20-40	4,58/4,89	4,16/4,14	-0,43/-0,75	22,6/26,1	0,72/0,63	11,7/16,7	0,02/0,04	0,03/0,05	1,16/1,21	5,9/6,8	0,09/0,15	1,25/1,36
	40-60	4,62/4,95	4,24/4,22	-0,38/-0,72	17,1/17,9	0,43/0,36	7,1/10,7	0,01/0,04	0,02/0,03	0,94/0,88	4,6/5,0	0,07/0,11	1,01/0,99

Continua...

Quadro 5, Cont.

Área	Profundidade	Eucalipto/floresta nativa								
		T	V	m	Zn	Cu	Fe	Mn	B	Ca/Al
	cm	Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	%		mg dm <sup>-3</sup>					
Ferros	0-10	9,55/11,08*	3,3/3,2 <sup>ns</sup>	81,05/83,20 <sup>ns</sup>	0,61/1,30**	0,05/0,19 <sup>o</sup>	62,3/149,5**	4,41/8,18 <sup>o</sup>	0,31/0,26 <sup>ns</sup>	0,064/0,064 <sup>ns</sup>
	10-20	7,04/8,44 <sup>ns</sup>	3,2/2,7 <sup>ns</sup>	81,59/84,68 <sup>ns</sup>	0,37/1,04**	0,08/0,34**	64,4/134,3**	3,10/5,33 <sup>o</sup>	0,28/0,22**	0,047/0,042 <sup>ns</sup>
	20-40	3,95/6,41**	2,5/2,1 <sup>ns</sup>	84,56/87,13 <sup>ns</sup>	0,24/0,72**	0,12/0,35*	53,0/156,5**	1,15/2,66**	0,17/0,18 <sup>ns</sup>	0,027/0,021 <sup>ns</sup>
	40-60	3,16/4,24**	2,0/1,7 <sup>ns</sup>	83,45/86,69 <sup>ns</sup>	0,32/0,95**	0,08/0,67**	49,8/98,0 <sup>o</sup>	0,81/1,32 <sup>ns</sup>	0,15/0,11	0,042/0,019 <sup>ns</sup>
Belo Oriente	0-10	8,66/9,80 <sup>ns</sup>	3,7/2,8 <sup>ns</sup>	85,47/87,21 <sup>ns</sup>	0,36/0,34 <sup>ns</sup>	0,50/0,22 <sup>ns</sup>	90,0/104,9 <sup>ns</sup>	5,42/3,84 <sup>ns</sup>	0,16/0,23*	0,067/0,033 <sup>ns</sup>
	10-20	6,60/8,50**	2,5/2,4 <sup>ns</sup>	90,59/89,38 <sup>ns</sup>	0,27/0,26 <sup>ns</sup>	0,47/0,19 <sup>ns</sup>	85,5/11,06 <sup>ns</sup>	2,27/2,91 <sup>ns</sup>	0,14/0,19 <sup>ns</sup>	0,031/0,028 <sup>ns</sup>
	20-40	4,67/6,09**	2,1/2,6 <sup>ns</sup>	93,42/89,56 <sup>ns</sup>	0,17/0,25 <sup>ns</sup>	0,50/0,21 <sup>ns</sup>	91,1/206,2**	1,42/3,39 <sup>ns</sup>	0,10/0,19**	0,018/0,026 <sup>ns</sup>
	40-60	3,69/4,55**	2,2/3,1 <sup>ns</sup>	93,80/88,72 <sup>ns</sup>	0,17/0,12 <sup>ns</sup>	0,47/0,18 <sup>ns</sup>	53,5/115,6**	1,22/2,15 <sup>ns</sup>	0,09/0,14**	0,016/0,062 <sup>ns</sup>
Guanhães	0-10	14,82/14,81 <sup>ns</sup>	2,1/2,0 <sup>ns</sup>	87,39/87,36 <sup>ns</sup>	0,40/0,53*	0,13/0,14 <sup>ns</sup>	116,5/117,3 <sup>ns</sup>	4,69/6,12 <sup>ns</sup>	0,39/0,39 <sup>ns</sup>	0,038/0,035 <sup>ns</sup>
	10-20	10,77/11,61 <sup>ns</sup>	1,3/1,5 <sup>ns</sup>	91,03/88,99 <sup>ns</sup>	0,30/0,37**	0,10/0,11 <sup>ns</sup>	93,0/103,5 <sup>ns</sup>	3,39/3,05 <sup>ns</sup>	0,33/0,32 <sup>ns</sup>	0,012/0,017 <sup>ns</sup>
	20-40	7,86/8,75*	1,0/1,2 <sup>ns</sup>	92,28/90,10 <sup>ns</sup>	0,26/0,31 <sup>ns</sup>	0,01/0,09 <sup>ns</sup>	91,4/103,8 <sup>ns</sup>	2,19/2,25 <sup>ns</sup>	0,32/0,22**	0,008/0,016 <sup>ns</sup>
	40-60	5,58/6,34**	1,1/1,3 <sup>ns</sup>	90,38/87,26**	0,21/0,23 <sup>ns</sup>	0,08/0,07 <sup>ns</sup>	71,6/67,2 <sup>ns</sup>	1,72/1,81 <sup>ns</sup>	0,27/0,14**	0,018/0,028 <sup>ns</sup>
Santa Bárbara	0-10	7,64/9,07*	2,2/3,8 <sup>ns</sup>	92,03/87,40 <sup>o</sup>	0,36/0,49 <sup>ns</sup>	0,48/0,30 <sup>ns</sup>	101,6/129,7	11,44/8,75 <sup>ns</sup>	0,25/0,31 <sup>ns</sup>	0,019/0,050 <sup>ns</sup>
	10-20	7,06/7,54 <sup>ns</sup>	1,7/2,9 <sup>ns</sup>	94,09/91,15 <sup>ns</sup>	0,21/0,33 <sup>o</sup>	0,44/0,21 <sup>o</sup>	83,8/114,0	9,54/7,60 <sup>ns</sup>	0,23/0,28 <sup>ns</sup>	0,013/0,031 <sup>ns</sup>
	20-40	5,56/6,02 <sup>ns</sup>	1,3/1,9 <sup>o</sup>	95,68/93,66 <sup>ns</sup>	0,16/0,32 <sup>o</sup>	0,41/0,13**	93,4/140,0	7,37/5,84 <sup>o</sup>	0,20/0,17 <sup>ns</sup>	0,012/0,019 <sup>ns</sup>
	40-60	4,50/4,50 <sup>ns</sup>	1,3/1,9 <sup>ns</sup>	95,97/93,60 <sup>ns</sup>	0,16/0,35 <sup>ns</sup>	0,39/0,21 <sup>ns</sup>	92,2/177,2	8,82/7,55 <sup>ns</sup>	0,18/0,14 <sup>ns</sup>	0,012/0,018 <sup>ns</sup>
Virginópolis	0-10	11,37/11,22 <sup>ns</sup>	1,7/10,0*	91,83/58,35**	0,18/0,34*	0,31/0,13**	95,4/78,5 <sup>ns</sup>	2,56/8,24**	0,36/0,32 <sup>ns</sup>	0,023/0,445 <sup>o</sup>
	10-20	10,09/9,22*	1,4/5,9*	93,23/72,66**	0,17/0,25 <sup>o</sup>	0,26/0,09**	67,8/65,4 <sup>ns</sup>	1,36/4,56**	0,35/0,26 <sup>ns</sup>	0,012/0,210 <sup>ns</sup>
	20-40	7,72/7,32 <sup>ns</sup>	1,2/3,4 <sup>ns</sup>	93,66/81,23	0,11/0,17*	0,35/0,06**	70,9/52,7 <sup>o</sup>	1,00/2,38**	0,23/0,20 <sup>ns</sup>	0,008/0,113 <sup>ns</sup>
	40-60	6,39/5,79 <sup>ns</sup>	1,1/2,8 <sup>ns</sup>	93,93/85,23	0,05/0,14**	0,30/0,05**	54,6/55,3 <sup>ns</sup>	0,71/1,95**	0,18/0,11**	0,007/0,080 <sup>ns</sup>
Média geral	0-10	10,41/11,19	2,6/4,3	87,55/80,70	0,38/0,60	0,29/0,19	93,2/116,0	5,71/7,03	0,30/0,30	0,040/0,108
	10-20	8,31/9,06	2,0/3,1	90,11/85,37	0,26/0,45	0,27/0,19	78,9/105,6	3,93/4,69	0,27/0,26	0,021/0,061
	20-40	5,95/6,92	1,6/2,2	91,92/88,34	0,19/0,36	0,29/0,17	79,9/131,8	2,62/3,30	0,21/0,19	0,013/0,037
	40-60	4,66/5,09	1,5/2,2	91,51/88,30	0,18/0,36	0,26/0,24	64,3/102,7	2,66/2,96	0,17/0,13	0,015/0,043

\*\* , \* , <sup>o</sup> , <sup>ns</sup> = Significativo a 1,0, 5,0, 10% e não-significativo, respectivamente.

Os teores de matéria orgânica decresceram na área com eucalipto (em quatro dos cinco locais estudados) (Quadro 5), quando comparados aos da área de floresta nativa, indicando que as taxas de adição de materiais orgânicos ao solo foram maiores nas áreas sem intervenção (floresta nativa). Outra possibilidade, menos provável, é a de que as taxas de mineralização tenham sido menores nas áreas de floresta nativa. Nas áreas de eucalipto, apesar da grande quantidade de resíduos produzidos, sua qualidade e também o uso de algumas práticas de manejo, como a queima desses resíduos, certamente contribuíram para que boa parte do resíduo orgânico depositado não fosse incorporada ao solo. As variações observadas na relação  $\text{Ca}^{2+}/\text{Al}^{3+}$  entre as áreas com eucalipto e com floresta nativa não foram significativas. Entretanto, houve tendência de redução, porém bem menor do que a ocorrida na comparação eucalipto versus pastagem. Esse comportamento mostra que, para esse indicador, a substituição da floresta nativa pelo eucalipto não ocasionou impacto negativo significativo. Os teores de Zn, Fe e Mn diminuíram nas áreas de eucalipto em relação aos da floresta nativa (Quadro 5), e os de Cu e B não apresentaram alterações consistentes.

No caso da comparação do solo com eucalipto com o das áreas de pastagem, as alterações constatadas indicam que, do modo como as áreas de eucalipto estavam sendo manejadas, a sustentabilidade do processo de produção de madeira poderia ser comprometida pela disponibilidade de K, Ca, Mg e micronutrientes, pela redução do pH e da relação Ca/Al e pelo aumento dos teores de  $\text{Al}^{3+}$ , H + Al e da quantidade de cargas positivas no solo. Já o comportamento de características como teor de matéria orgânica e P-Mehlich-1 indica que, em relação a estas características, o processo estaria sustentável.

Considerando a floresta nativa como referencial, essas alterações indicam que o comprometimento da sustentabilidade do processo de produção causado pela disponibilidade de K, Ca, Mg e micronutrientes seria menor do que o observado quando da utilização de áreas de

pastagem para o cultivo do eucalipto, do mesmo modo que os efeitos causados pelo pH, pelos teores de  $Al^{3+}$ ,  $H + Al$  e pela quantidade de cargas positivas. Entretanto, o comportamento observado para matéria orgânica indica que essa característica poderá vir a comprometer essa sustentabilidade. Esses resultados permitem inferir que as reduções de produtividade, algumas vezes observadas após o primeiro ciclo em áreas anteriormente com florestas nativas, têm como causa principal as alterações em características físicas do solo e não as alterações em características químicas.

As avaliações de formas menos disponíveis de alguns nutrientes mostraram que reduzidas quantidades de formas “estáveis” (extraídas com ácido sulfúrico) de K, Ca e de Mg (Quadros 4 e 6) estão coerentes com o estágio de intemperização desses solos. Segundo limites sugeridos por Resende & Santana (1988), todas as cinco áreas estudadas apresentariam solos com minerais secundários, com a fração argila constituída predominantemente por materiais gibssíticos-sesquioxídicos,  $K_i \leq 0,75$  e  $K_r \leq 0,75$ , ou seja, materiais em um nível de intemperismo extremo e, conseqüentemente, com reduzido conteúdo de bases.

Os teores de  $K-HNO_3$  (formas disponíveis mais as de disponibilidade intermediária) foram até 3,8 vezes maiores que os teores de  $K-Mehlich-1$  (formas disponíveis) (Quadro 7), indicando que, caso essas formas realmente sejam aquelas que melhor estimem o K disponível para o eucalipto (Melo et al., 1995), as recomendações de adubação que utilizam os teores de K trocável estão levando a recomendações imprecisas.

A relação  $K-HNO_3/K-Mehlich-1$  apresentou diferenças expressivas entre as regiões, sendo a região de Belo Oriente aquela com solos com menores quantidades deste elemento na forma de disponibilidade intermediária e a de Santa Bárbara a de maior. Os valores dessa relação aumentaram com a profundidade do solo. Este comportamento também foi constatado por Amaral (1999) em solos da região de Santa Bárbara.

Portanto, camadas mais profundas deveriam ser também incluídas em sistemas de recomendação de adubação do eucalipto baseados em balanço nutricional. Melo et al. (1995), estudando formas de K e de Mg em solos do Rio Grande do Sul e sua relação com o crescimento do eucalipto e seu conteúdo, concluíram que as formas não-trocáveis de K foram significativamente importantes na nutrição do eucalipto. Lana & Neves (1994), avaliando a capacidade de suprimento de potássio em solos cultivados com eucalipto, constataram que as formas de K não-trocáveis ( $K-HNO_3$  – K-acetato de amônio) foram responsáveis, em média, por 70% do potássio absorvido pelas plantas.

A relação K-ataque sulfúrico/ $K-HNO_3$ , na média das situações avaliadas, variou de 1,54 a 53,61; estes valores também aumentaram com a profundidade do perfil do solo, reforçando mais uma vez a necessidade de incluir a contribuição dos teores de nutrientes de camadas mais profundas nos sistemas de recomendação baseados em balanço nutricional. Não foi observada tendência definida para o relacionamento entre os teores de K-ataque sulfúrico e os de  $K-HNO_3$  e de K-Mehlich-1.

As quantidades de  $Ca-HNO_3$  (Quadros 4 e 6) também foram bem maiores do que aquelas extraídas com KCl. A relação  $Ca-HNO_3/Ca-KCl$  decresceu com a profundidade, indicando que a contribuição de formas minerais como reserva desse nutriente, nesses solos, deve ser inexpressiva e que as reservas de Ca nesses sistemas devem estar sendo controladas principalmente pelo material orgânico presente nas camadas superficiais desses solos.



Quadro 6. Concentrações de formas disponíveis/trocáveis mais as de disponibilidade intermediária (extraídas com HNO<sub>3</sub>) e formas “estáveis” (obtidas em extrato do ataque sulfúrico) de K, Ca e Mg em amostras de solos, em diferentes profundidades, coletadas em áreas cultivadas com eucalipto ou com floresta nativa, em cinco áreas do Vale do Rio Doce, com respectivas significâncias dos contrastes entre os valores

Área	Profundidade	Eucalipto/floresta nativa					
		K-(HNO <sub>3</sub> )	K-(ataque sulfúrico)	Ca-(HNO <sub>3</sub> )	Ca-(ataque sulfúrico)	Mg-(HNO <sub>3</sub> )	Mg-(ataque sulfúrico)
cm		mg dm <sup>-3</sup>		Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
Ferros	0-10	39,9/43,0 <sup>ns</sup>	43,7/87,2	0,186/0,140 <sup>ns</sup>	0,319/0,268	0,105/0,077 <sup>ns</sup>	1,440/0,511
	10-20	29,1/36,8*	49,9/80,9	0,082/0,091 <sup>ns</sup>	0,189/0,109	0,030/0,081 <sup>ns</sup>	0,740/0,622
	20-40	15,1/27,9**	43,7/77,8	0,019/0,035 <sup>ns</sup>	0,014/0,005	0,000/0,030*	0,532/1,050
	40-60	12,4/15,2**	62,4/77,8	0,012/0,001 <sup>ns</sup>	0,125/0,000	0,000/0,000 <sup>ns</sup>	0,988/0,438
Belo Oriente	0-10	30,2/38,6 <sup>O</sup>	849,0/70,5	0,126/0,111 <sup>ns</sup>	0,154/0,194	0,118/0,153 <sup>ns</sup>	0,600/0,743
	10-20	21,6/32,5 <sup>ns</sup>	25,2/30,2	0,062/0,074 <sup>ns</sup>	0,271/0,303	0,080/0,111 <sup>ns</sup>	0,686/0,675
	20-40	15,6/22,9*	75,4/32,7	0,045/0,057 <sup>ns</sup>	0,565/0,271	0,061/0,083 <sup>ns</sup>	0,810/0,749
	40-60	9,40/13,6**	140,0/22,7	0,033/0,037 <sup>ns</sup>	0,285/0,192	0,044/0,06 <sup>ns</sup>	0,827/0,456
Guanhães	0-10	41,0/46,4 <sup>ns</sup>	49,0/49,2	0,209/0,151 <sup>ns</sup>	0,126/0,142	0,158/0,139 <sup>ns</sup>	0,432/0,156
	10-20	30,6/30,7 <sup>ns</sup>	49,0/49,0	0,096/0,058 <sup>ns</sup>	0,077/0,357	0,096/0,083 <sup>ns</sup>	0,286/1,048
	20-40	15,4/20,4 <sup>ns</sup>	265,2/36,8	0,03/0,0220 <sup>ns</sup>	0,310/0,145	0,056/0,057 <sup>ns</sup>	2,774/0,583
	40-60	8,7/15,4**	265,6/36,8	0,009/0,022 <sup>ns</sup>	0,212/0,364	0,041/0,176*	3,785/1,533
Santa Bárbara	0-10	53,0/61,5 <sup>ns</sup>	1574,7/1930,9	0,094/0,213 <sup>ns</sup>	0,301/0,07	0,119/0,155 <sup>ns</sup>	3,524/2,848
	10-20	52,6/45,8 <sup>ns</sup>	2245,1/2082,4	0,083/0,121 <sup>ns</sup>	0,103/0,090	0,120/0,097 <sup>ns</sup>	4,309/2,837
	20-40	41,8/33,5 <sup>ns</sup>	2731,4/2104,2	0,047/0,064 <sup>ns</sup>	0,055/0,024	0,075/0,062 <sup>ns</sup>	5,083/2,937
	40-60	38,0/47,1 <sup>ns</sup>	2768,8/1774,3	0,033/0,031 <sup>ns</sup>	0,052/0,014	0,067/0,112*	5,377/2,123
Virginópolis	0-10	37,9/48,7*	171,3/173,7	0,408/2,068 <sup>ns</sup>	0,327/0,622	0,178/0,551*	1,703/1,502
	10-20	32,3/31,6 <sup>ns</sup>	161,7/161,2	0,105/0,856*	0,255/0,485	0,103/0,256**	1,641/0,840
	20-40	21,9/20,9 <sup>ns</sup>	143,1/149,7	0,046/0,400 <sup>O</sup>	0,107/0,422	0,040/0,179**	0,888/1,527
	40-60	16,6/17,6 <sup>ns</sup>	171,1/153,1	0,059/0,290*	0,115/1,187	0,023/0,135**	1,068/1,995
Média geral	0-10	40,4/47,6	537,5/462,3	0,205/0,537	0,245/0,259	0,136/0,215	1,540/1,152
	10-20	33,2/35,5	506,2/480,8	0,085/0,240	0,179/0,268	0,086/0,125	1,532/1,205
	20-40	22,0/25,1	651,7/480,2	0,038/0,116	0,210/0,178	0,046/0,082	2,017/1,369
	40-60	17,0/21,8	681,6/412,9	0,029/0,076	0,158/0,351	0,035/0,097	2,409/1,309

\*\* , \* , <sup>O</sup> , <sup>ns</sup> = Significativos a 1,0, 5,0, 10% e não-significativo, respectivamente.

Quadro 7. Relações entre teores de K, Ca e Mg determinados em extratos de  $\text{HNO}_3$  2 mol  $\text{L}^{-1}$  e em extratos do Mehlich-1 para K e do KCl para Ca e Mg, de amostras de solo coletadas em diferentes profundidades

Área	Profundidade (cm)											
	0-10	10-20	20-40	40-60	0-10	10-20	20-40	40-60	0-10	10-20	20-40	40-60
	Potássio				Cálcio				Magnésio			
Ferros	1,31	1,28	1,41	1,54	1,39	1,17	1,19	0,65	0,73	0,55	0,29	0,04
Belo Oriente	0,97	1,27	1,27	1,44	1,40	1,58	1,15	0,87	1,36	1,34	1,23	1,18
Guanhães	1,21	1,26	1,36	1,50	4,44	3,93	2,87	2,22	1,80	1,64	1,85	4,33
Santa Bárbara	1,31	1,91	2,64	3,81	2,76	1,38	1,49	1,36	1,56	1,37	1,11	1,57
Virginópolis	1,50	1,66	1,67	1,96	3,46	2,51	2,64	2,68	1,42	1,51	1,66	1,70
Média	1,25	1,48	1,69	2,15	2,55	1,94	1,70	1,40	1,36	1,29	1,22	1,48

Os teores de Ca trocável inferiores aos dos níveis considerados críticos para a cultura do eucalipto e a reduzida quantidade de Ca não-trocável (diferença entre Ca- $\text{HNO}_3$  e Ca-KCl) e de formas “estáveis” de Ca no solo (Ca-ataque sulfúrico), associados ao fato de as maiores reservas localizarem-se nas camadas mais superficiais (portanto mais suscetíveis a perdas por processos erosivos), elegem este nutriente como crítico na manutenção da sustentabilidade do sistema de produção de eucalipto nestes solos. Considerando que a reposição deste elemento trará efeitos adicionais, além do suprimento de Ca, como o de reduzir a acidez ativa e os teores de Al trocável, a importância do manejo deste nutriente, nesse ambiente, torna-se ainda maior.

Por outro lado, os teores de Mg- $\text{HNO}_3$  não foram muito diferentes daqueles determinados com KCl (Quadros 4 e 6), indicando presença de reduzida reserva de médio prazo de Mg nos solos. A relação Mg- $\text{HNO}_3$ /Mg-KCl também não apresentou tendências definidas de variação com a profundidade.

As inferências feitas em relação à disponibilização, a partir de reservas do solo de K, Ca e Mg, a médio e longo prazo, confirmam as constatações feitas por Santos et al. (1998) e Amaral (1999) para solos dessa mesma região, de que as reservas de médio e longo prazo desses elementos são praticamente inexistentes nesses solos.

No caso do P, o método utilizado para a quantificação de formas de P proposto por Hedley et al. (1982) permite o fracionamento do P total do solo em cinco formas inorgânicas (Pi-resina, Pi-bicarbonato, Pi-NaOH, Pi-ultra-sônico e Pi-HCl), três orgânicas (Po-bicarbonato, Po-NaOH, Po-ultra-sônico) e uma residual. Em solos muito intemperizados, como os das áreas em estudo, formas de P orgânico e frações menos lábeis de P inorgânico, não quantificadas nas análises tradicionais, também podem contribuir para a nutrição das plantas (Tiessen et al., 1984; Araújo et al., 1993a,b; Cross & Schlesinger, 1995).

O fracionamento de Hedley mostrou que as formas inorgânicas de P (Pi bicarbonato, hidróxido e ultra-sônico) não diferiram significativamente entre as situações estudadas (Quadros 8 e 9). No entanto, entre as formas orgânicas as diferenças entre os diferentes usos do solo, apesar de não-significativas, foram de magnitudes maiores, mostrando clara tendência de alterações em função do uso do solo, fato não observado para as formas inorgânicas. Comparando-se o solo com eucalipto com o da área com pastagem, foram observados aumentos nas frações orgânicas de P no solo com eucalipto. Já na floresta nativa, quando comparada com o eucalipto, constataram-se maiores teores de Po.

Os menores teores de Po nas áreas de eucalipto, comparadas às áreas de floresta nativa, podem indicar que formas de Po em áreas de florestas nativas contribuíram para a nutrição de P das florestas de eucalipto posteriormente cultivadas nessas áreas. Neste caso, as formas de Po seriam fonte de P. As formas de Po que apresentaram maiores reduções foram as de Po-NaOH (forma considerada como de disponibilidade restrita) e Po-bicarbonato (forma mais prontamente disponível). Na

comparação entre eucalipto e pastagem, os maiores teores de  $P_o$  nas áreas de eucalipto podem estar indicando que estas formas orgânicas estão funcionando como dreno deste elemento. Novais & Smyth (1999) consideram a concentração de 0,2% de P nos resíduos como aquela em que os processos de mineralização e imobilização estão em equilíbrio; em situações nas quais esta concentração é menor que 0,2% predominaria o processo de imobilização deste elemento. Nas áreas estudadas, a concentração de P nos componentes da serapilheira encontra-se entre 0,050 e 0,025%, favorecendo, portanto, a imobilização de P.

A relação  $P_o/P_i$  mostra que a contribuição do  $P_o$  reduz drasticamente com o aumento da profundidade; até a camada de 40 cm as formas orgânicas estão presentes em maiores teores que as inorgânicas. Entre regiões, são elevadas as diferenças desta relação (Quadros 8 e 9).

Mais de 70% do P nesses solos está na forma de P residual (Quadros 8 e 9); portanto, a princípio, não-disponível. A contribuição das formas de P não-disponíveis a curto prazo (P-residual e P-HCl) é crescente com a profundidade do solo. No entanto, a presença em teores decrescentes com a profundidade, tanto de formas de disponibilidade restrita ( $P_o$  e  $P_i$ -NaOH e  $P_i$  e  $P_o$  ultra-sônico), como de formas prontamente disponíveis ( $P_o$  e  $P_i$ -bicarbonato e  $P_i$ -resina), reforça a necessidade da preservação das camadas mais superficiais do solo como forma de manutenção da qualidade do P nele existente.

Quadro 8. Formas de P pelo fracionamento de Hedley em amostras de solo em diferentes profundidades, coletadas em áreas cultivadas com eucalipto ou com pastagem em cinco áreas do Vale do Rio Doce, com as respectivas significâncias dos contrastes entre os valores

Área	Profundidade	Eucalipto/pastagem										
		Pi-Mehli-1	Pi-resina	Pi-bicarb	Po-bicarb	Pi-NaOH	Po-NaOH	Pi-ultras.	Po-ultras	Pi-HCl	P-residual	P-total
	cm	mg dm <sup>-3</sup>										
Ferros	0-10	2,24/1,79 <sup>ns</sup>	0,69/0,72 <sup>ns</sup>	4,2/3,3 <sup>*</sup>	11,9/9,2 <sup>ns</sup>	20,3/8,9 <sup>**</sup>	26,1/8,2 <sup>**</sup>	3,3/3,8 <sup>ns</sup>	10,5/5,0 <sup>ns</sup>	2,4/1,5 <sup>**</sup>	120,9/98,7 <sup>*</sup>	200,3/139,3 <sup>**</sup>
	10-20	1,51/1,03 <sup>o</sup>	0,71/0,42 <sup>o</sup>	2,6/3,6 <sup>ns</sup>	9,8/4,2 <sup>ns</sup>	3,9/8,3 <sup>**</sup>	10,6/10,0 <sup>ns</sup>	2,4/4,1 <sup>*</sup>	6,8/5,3 <sup>ns</sup>	1,9/2,0 <sup>ns</sup>	153,1/97,6 <sup>*</sup>	191,9/135,5 <sup>*</sup>
	20-40	0,71/0,67 <sup>ns</sup>	0,76/1,06 <sup>ns</sup>	1,6/3,3 <sup>*</sup>	7,5/0,5 <sup>ns</sup>	4,7/7,4 <sup>ns</sup>	8,7/4,1 <sup>ns</sup>	0,9/3,8 <sup>**</sup>	2,7/1,8 <sup>ns</sup>	1,8/2,0 <sup>ns</sup>	131,0/122,1 <sup>ns</sup>	159,8/146,0 <sup>ns</sup>
	40-60	0,48/0,54 <sup>ns</sup>	0,63/0,85 <sup>ns</sup>	2,6/2,9 <sup>ns</sup>	5,4/0,6 <sup>**</sup>	2,5/7,9 <sup>*</sup>	2,8/18,9 <sup>ns</sup>	1,3/3,3 <sup>**</sup>	1,8/1,9 <sup>ns</sup>	1,8/2,0 <sup>ns</sup>	171,9/133,8 <sup>ns</sup>	190,8/172,4 <sup>ns</sup>
Belo Oriente	0-10	2,69/1,50 <sup>ns</sup>	1,37/1,30 <sup>ns</sup>	2,3/4,9 <sup>**</sup>	3,5/2,3 <sup>ns</sup>	5,6/10,0 <sup>ns</sup>	4,1/35,4 <sup>**</sup>	2,6/5,9 <sup>*</sup>	6,3/18,3 <sup>*</sup>	1,7/2,3 <sup>*</sup>	86,9/89,8 <sup>ns</sup>	114,5/170,1 <sup>**</sup>
	10-20	1,39/0,95 <sup>ns</sup>	1,00/0,80 <sup>ns</sup>	1,1/3,9 <sup>**</sup>	3,2/3,1 <sup>ns</sup>	12,7/7,4 <sup>ns</sup>	2,1/5,4 <sup>ns</sup>	2,1/3,1 <sup>*</sup>	1,6/6,6 <sup>*</sup>	2,4/2,4 <sup>ns</sup>	80,1/70,4 <sup>ns</sup>	106,1/103,1 <sup>ns</sup>
	20-40	0,86/0,60 <sup>*</sup>	0,88/0,55 <sup>ns</sup>	1,1/3,3 <sup>**</sup>	1,2/1,6 <sup>ns</sup>	6,8/2,9 <sup>ns</sup>	5,4/3,4 <sup>ns</sup>	6,2/2,0 <sup>**</sup>	2,9/3,1 <sup>ns</sup>	2,7/2,1 <sup>**</sup>	80,6/79,6 <sup>ns</sup>	107,7/98,5 <sup>ns</sup>
	40-60	0,66/0,32 <sup>**</sup>	0,62/0,66 <sup>ns</sup>	0,7/0,6 <sup>ns</sup>	0,9/3,0 <sup>**</sup>	9,9/2,4 <sup>**</sup>	3,8/2,7 <sup>ns</sup>	3,8/3,2 <sup>ns</sup>	3,0/0,9 <sup>*</sup>	2,6/1,7 <sup>**</sup>	84,8/64,9 <sup>ns</sup>	110,3/80,1 <sup>*</sup>
Santa Bárba	0-10	2,76/2,72 <sup>ns</sup>	1,41/1,36 <sup>ns</sup>	5,8/5,5 <sup>ns</sup>	26,4/19,3 <sup>ns</sup>	6,1/11,0 <sup>ns</sup>	39,9/38,8 <sup>ns</sup>	5,4/4,8 <sup>ns</sup>	14,7/10,2 <sup>ns</sup>	2,9/2,1 <sup>**</sup>	95,0/75,6 <sup>**</sup>	197,5/168,6 <sup>ns</sup>
	10-20	2,08/0,96 <sup>**</sup>	1,49/1,67 <sup>ns</sup>	4,6/4,2 <sup>ns</sup>	23,1/8,0 <sup>**</sup>	7,7/11,3 <sup>ns</sup>	39,9/28,2 <sup>ns</sup>	3,0/3,8 <sup>ns</sup>	9,5/5,8 <sup>ns</sup>	3,3/2,3 <sup>**</sup>	141,7/76,9 <sup>*</sup>	234,4/142,4 <sup>*</sup>
	20-40	0,61/0,33 <sup>o</sup>	0,87/1,75 <sup>*</sup>	3,9/3,7 <sup>ns</sup>	5,0/1,8 <sup>**</sup>	2,7/7,1 <sup>**</sup>	8,0/6,8 <sup>ns</sup>	1,9/2,9 <sup>ns</sup>	2,8/2,4 <sup>ns</sup>	3,7/2,4 <sup>**</sup>	96,3/84,4 <sup>ns</sup>	125,1/113,3 <sup>ns</sup>
	40-60	0,24/0,06 <sup>*</sup>	1,15/1,77 <sup>ns</sup>	3,9/3,7 <sup>ns</sup>	2,6/0,2 <sup>**</sup>	3,3/7,9 <sup>**</sup>	11,5/8,6 <sup>ns</sup>	3,9/3,8 <sup>ns</sup>	8,2/3,5 <sup>*</sup>	3,7/2,4 <sup>**</sup>	91,9/106,8 <sup>ns</sup>	130,1/138,7 <sup>ns</sup>
Guanhães	0-10	3,87/8,51 <sup>*</sup>	0,76/1,41 <sup>*</sup>	5,2/4,0 <sup>ns</sup>	9,6/4,5 <sup>ns</sup>	9,5/11,3 <sup>ns</sup>	13,8/14,6 <sup>ns</sup>	3,0/4,3 <sup>ns</sup>	5,9/9,6 <sup>ns</sup>	2,2/3,9 <sup>ns</sup>	68,1/137,1 <sup>ns</sup>	118,1/190,7 <sup>*</sup>
	10-20	1,84/1,65 <sup>ns</sup>	0,68/0,77 <sup>ns</sup>	5,3/3,4 <sup>ns</sup>	3,0/1,8 <sup>ns</sup>	3,3/5,0 <sup>ns</sup>	6,6/8,8 <sup>ns</sup>	2,2/1,2 <sup>*</sup>	4,2/2,5 <sup>ns</sup>	2,3/1,8 <sup>**</sup>	85,5/82,0 <sup>ns</sup>	113,0/107,3 <sup>ns</sup>
	20-40	1,04/0,91 <sup>ns</sup>	0,64/0,21 <sup>**</sup>	4,1/3,7 <sup>ns</sup>	0,7/0,3 <sup>ns</sup>	5,0/1,1 <sup>*</sup>	3,9/2,2 <sup>ns</sup>	1,1/0,7 <sup>ns</sup>	2,4/1,3 <sup>ns</sup>	2,1/2,1 <sup>**</sup>	64,2/72,3 <sup>ns</sup>	84,2/84,0 <sup>ns</sup>
	40-60	0,72/0,43 <sup>ns</sup>	0,55/0,16 <sup>**</sup>	3,8/4,2 <sup>ns</sup>	0,4/0,4 <sup>ns</sup>	1,2/2,0 <sup>ns</sup>	1,2/4,3 <sup>*</sup>	0,9/0,7 <sup>ns</sup>	1,4/1,0 <sup>ns</sup>	1,7/2,1 <sup>**</sup>	73,8/77,9 <sup>ns</sup>	84,9/92,7 <sup>ns</sup>
Virginópolis	0-10	2,04/0,82 <sup>**</sup>	1,84/1,38 <sup>ns</sup>	7,3/4,7 <sup>*</sup>	15,4/7,7 <sup>*</sup>	7,4/8,6 <sup>ns</sup>	51,1/16,6 <sup>**</sup>	3,9/4,2 <sup>ns</sup>	11,1/7,7 <sup>ns</sup>	2,0/2,2 <sup>ns</sup>	63,3/78,8 <sup>ns</sup>	163,4/131,8 <sup>ns</sup>
	10-20	1,54/0,45 <sup>**</sup>	1,54/1,46 <sup>ns</sup>	9,4/5,6 <sup>**</sup>	7,8/2,4 <sup>ns</sup>	7,3/6,8 <sup>ns</sup>	41,1/13,6 <sup>**</sup>	3,3/3,1 <sup>ns</sup>	10,8/5,6 <sup>*</sup>	2,3/2,2 <sup>ns</sup>	74,6/78,1 <sup>ns</sup>	158,2/118,9 <sup>ns</sup>
	20-40	0,92/0,35 <sup>**</sup>	1,50/1,36 <sup>ns</sup>	7,7/4,0 <sup>**</sup>	9,3/0,7 <sup>**</sup>	6,8/16,5 <sup>*</sup>	18,5/5,5 <sup>o</sup>	3,0/3,3 <sup>ns</sup>	9,3/5,3 <sup>*</sup>	2,3/2,2 <sup>ns</sup>	67,9/62,0 <sup>ns</sup>	126,5/100,8 <sup>ns</sup>
	40-60	0,36/0,11 <sup>**</sup>	1,11/0,25 <sup>*</sup>	5,2/1,0 <sup>**</sup>	4,2/1,7 <sup>ns</sup>	3,2/1,9 <sup>ns</sup>	6,0/3,8 <sup>ns</sup>	4,1/0,7 <sup>**</sup>	8,3/2,6 <sup>**</sup>	2,5/2,0 <sup>**</sup>	68,4/55,8 <sup>*</sup>	103,0/69,7 <sup>**</sup>
Média geral	0-10	2,72/3,07	1,21/1,23	5,0/4,5	13,3/8,6	9,8/10,0	27,0/22,7	3,6/4,6	9,7/10,1	2,3/2,4	86,8/96,0	158,8/160,1
	10-20	1,67/1,01	1,08/1,02	4,6/4,1	9,4/3,9	7,0/7,8	20,1/13,2	2,6/3,0	6,6/5,2	2,4/2,1	107,0/81,0	160,7/121,4
	20-40	0,83/0,57	0,93/0,99	3,7/3,6	4,7/1,0	5,2/7,0	8,9/4,4	2,6/2,5	4,0/2,8	2,5/2,2	88,0/84,1	120,6/108,5
	40-60	0,50/0,29	0,81/0,74	3,2/2,5	2,7/1,2	4,0/4,4	5,1/7,7	2,8/2,4	4,5/2,0	2,5/2,0	98,2/87,8	123,8/110,7

\*\* , \* , <sup>o</sup> , <sup>ns</sup> = Significativo a 1,0, 5,0, 10% e não-significativo, respectivamente.

Quadro 9. Formas de P pelo fracionamento de Hedley em amostras de solo em diferentes profundidades, coletadas em áreas cultivadas com eucalipto ou com floresta nativa em cinco áreas do Vale do Rio Doce, com as respectivas significâncias dos contrastes entre os valores

Área	Profundidade	Eucalipto/floresta nativa										
		Pi-Meli-1	Pi-resina	Pi-bicarb	Po-bicarb	Pi-NaOH	Po-NaOH	Pi-ultras.	Po-ultras	Pi-HCl	P-residual	P-total
	cm	mg dm <sup>-3</sup>										
Ferros	0-10	2,89/1,29**	0,21/1,16**	4,9/5,4 <sup>ns</sup>	22,0/37,7**	12,6/10,8 <sup>ns</sup>	35,9/58,3**	5,7/3,2**	13,1/16,4 <sup>ns</sup>	2,2/1,6 <sup>o</sup>	125,2/74,6**	221,8/209,2 <sup>ns</sup>
	10-20	1,51/1,01 <sup>o</sup>	0,16/0,93**	4,7/4,5 <sup>ns</sup>	8,7/21,9*	8,8/6,1**	15,1/37,1**	3,8/2,2*	8,4/9,0 <sup>ns</sup>	2,3/1,6**	95,3/69,8 <sup>ns</sup>	147,3/153,2 <sup>ns</sup>
	20-40	0,55/0,54 <sup>ns</sup>	0,34/1,27**	3,1/3,4 <sup>ns</sup>	2,1/12,4 <sup>o</sup>	6,8/4,2 <sup>ns</sup>	4,8/22,0*	3,2/2,5 <sup>ns</sup>	5,2/4,8 <sup>ns</sup>	2,6/1,7**	65,7/128,0*	93,9/180,2*
	40-60	0,32/0,18 <sup>ns</sup>	0,27/1,72**	2,9/2,5 <sup>ns</sup>	1,7/2,1 <sup>ns</sup>	6,2/4,3 <sup>ns</sup>	3,8/14,7 <sup>ns</sup>	3,1/1,2**	4,6/0,5**	3,3/1,7**	74,4/114,4 <sup>ns</sup>	100,3/143,3 <sup>ns</sup>
Belo Oriente	0-10	3,06/1,88 <sup>ns</sup>	1,62/1,23 <sup>ns</sup>	8,9/1,5**	5,5/6,2 <sup>ns</sup>	17,5/10,3 <sup>ns</sup>	15,1/30,6 <sup>ns</sup>	4,0/5,5 <sup>ns</sup>	10,6/15,9 <sup>ns</sup>	2,6/1,8**	71,6/80,9 <sup>ns</sup>	137,6/154,1 <sup>ns</sup>
	10-20	2,03/1,39*	1,04/0,86 <sup>ns</sup>	3,9/1,1**	2,7/3,0 <sup>ns</sup>	10,0/8,6 <sup>ns</sup>	9,4/4,2 <sup>o</sup>	4,1/4,8 <sup>ns</sup>	7,6/14,3**	2,3/2,0 <sup>ns</sup>	69,4/86,6 <sup>ns</sup>	110,5/125,5 <sup>ns</sup>
	20-40	1,29/0,73**	0,67/0,67 <sup>ns</sup>	1,2/0,9 <sup>ns</sup>	1,6/1,1 <sup>ns</sup>	6,4/7,7 <sup>ns</sup>	5,1/14,8 <sup>o</sup>	4,1/4,2 <sup>ns</sup>	4,8/9,5*	1,5/2,1**	103,3/93,2 <sup>ns</sup>	128,6/134,3 <sup>ns</sup>
	40-60	0,84/0,47**	0,55/0,82 <sup>ns</sup>	1,0/0,7 <sup>ns</sup>	1,0/0,6 <sup>ns</sup>	8,2/6,2 <sup>ns</sup>	6,1/3,0 <sup>ns</sup>	5,2/3,1 <sup>ns</sup>	1,3/2,5 <sup>ns</sup>	1,6/2,5**	105,4/82,8 <sup>ns</sup>	130,4/102,2 <sup>o</sup>
Santa Bárbara	0-10	1,92/1,57 <sup>ns</sup>	1,42/1,03 <sup>o</sup>	5,1/7,8**	14,0/27,4*	11,1/14,7 <sup>ns</sup>	40,0/60,2 <sup>ns</sup>	2,4/2,5 <sup>ns</sup>	5,1/5,3 <sup>ns</sup>	1,6/1,7 <sup>ns</sup>	83,9/84,1 <sup>ns</sup>	164,6/204,8 <sup>ns</sup>
	10-20	0,97/0,94 <sup>ns</sup>	1,09/1,26 <sup>ns</sup>	4,8/5,4 <sup>ns</sup>	5,4/10,1 <sup>ns</sup>	4,8/4,5 <sup>ns</sup>	23,3/27,5 <sup>ns</sup>	1,6/2,4 <sup>ns</sup>	2,2/6,2 <sup>ns</sup>	1,7/1,7 <sup>ns</sup>	83,8/82,7 <sup>ns</sup>	128,7/141,7 <sup>ns</sup>
	20-40	0,46/0,45 <sup>ns</sup>	1,32/1,39 <sup>ns</sup>	3,9/3,6 <sup>ns</sup>	1,1/2,7 <sup>ns</sup>	1,6/4,2**	5,1/19,9**	2,3/2,0 <sup>ns</sup>	5,1/3,5 <sup>ns</sup>	1,8/1,7 <sup>ns</sup>	83,3/80,6 <sup>ns</sup>	105,5/119,6 <sup>ns</sup>
	40-60	0,15/0,20 <sup>ns</sup>	0,57/1,12 <sup>ns</sup>	3,4/4,2**	0,6/0,8 <sup>ns</sup>	1,2/1,5 <sup>ns</sup>	1,9/7,4 <sup>o</sup>	1,1/1,8 <sup>ns</sup>	0,4/0,9 <sup>ns</sup>	1,6/1,7 <sup>ns</sup>	74,1/84,5 <sup>ns</sup>	85,0/104,1 <sup>ns</sup>
Guanhães	0-10	1,94/3,13 <sup>ns</sup>	1,05/0,95 <sup>ns</sup>	2,4/5,0**	10,0/6,9 <sup>ns</sup>	5,6/9,6 <sup>ns</sup>	10,4/13,3 <sup>ns</sup>	5,1/2,9 <sup>ns</sup>	10,8/7,0 <sup>ns</sup>	2,2/2,3 <sup>ns</sup>	99,0/91,9 <sup>ns</sup>	146,6/139,8 <sup>ns</sup>
	10-20	1,24/2,14**	0,87/0,73*	2,3/5,1 <sup>ns</sup>	6,1/3,9 <sup>ns</sup>	7,9/9,6 <sup>ns</sup>	12,9/9,6 <sup>ns</sup>	4,7/2,7**	6,7/2,7**	2,2/2,2 <sup>ns</sup>	85,0/87,5 <sup>ns</sup>	128,6/124,0 <sup>ns</sup>
	20-40	0,33/1,00**	0,18/0,65**	3,0/3,8 <sup>ns</sup>	0,9/0,8 <sup>ns</sup>	2,3/9,4**	3,4/8,3 <sup>o</sup>	4,2/2,1**	4,8/2,3*	2,0/2,0 <sup>ns</sup>	78,2/98,2**	99,0/127,7**
	40-60	0,03/0,56*	0,14/0,34 <sup>ns</sup>	2,1/3,4 <sup>ns</sup>	1,4/0,9 <sup>ns</sup>	3,8/7,4**	4,4/3,4 <sup>ns</sup>	3,7/2,5 <sup>ns</sup>	2,7/1,6 <sup>ns</sup>	2,0/2,2**	82,3/95,2 <sup>ns</sup>	102,5/117,0 <sup>ns</sup>
Virginópolis	0-10	2,02/1,52*	1,99/2,62 <sup>ns</sup>	11,1/3,2**	8,1/19,9**	5,2/5,1 <sup>ns</sup>	32,5/38,4 <sup>ns</sup>	6,6/6,9 <sup>ns</sup>	12,7/25,3*	2,9/2,4*	86,2/98,2 <sup>ns</sup>	167,3/202,0 <sup>ns</sup>
	10-20	1,49/1,27 <sup>ns</sup>	3,51/1,45*	8,8/2,0**	12,0/11,2 <sup>ns</sup>	7,9/3,9 <sup>ns</sup>	26,0/25,6 <sup>ns</sup>	4,2/4,2 <sup>ns</sup>	11,3/12,2 <sup>ns</sup>	2,8/2,3*	103,2/77,1 <sup>ns</sup>	179,6/139,9 <sup>ns</sup>
	20-40	1,00/0,60**	1,66/1,45 <sup>ns</sup>	8,0/1,1**	2,5/5,7**	5,5/4,4 <sup>ns</sup>	11,6/17,0 <sup>ns</sup>	4,1/3,2 <sup>ns</sup>	6,4/8,5 <sup>ns</sup>	3,0/2,3**	66,3/80,8 <sup>ns</sup>	109,1/124,4 <sup>ns</sup>
	40-60	0,62/0,50 <sup>ns</sup>	0,99/1,31 <sup>ns</sup>	3,4/3,9 <sup>ns</sup>	2,0/3,0 <sup>ns</sup>	8,7/1,7**	3,9/6,9 <sup>ns</sup>	2,7/2,4 <sup>ns</sup>	4,1/4,1 <sup>ns</sup>	2,3/2,0*	60,5/84,0**	88,7/109,3**
Média geral	0-10	2,37/1,88	1,26/1,40	6,5/4,6	11,9/19,6	10,4/10,1	26,8/40,2	4,8/4,2	10,5/14,0	2,3/2,0	93,2/85,9	167,6/182,0
	10-20	1,45/1,35	1,33/1,05	4,9/3,6	7,0/10,0	7,9/6,5	17,3/20,8	3,7/3,2	7,2/8,9	2,3/2,0	87,4/80,8	138,9/136,8
	20-40	0,73/0,66	0,84/1,09	3,8/2,6	1,7/4,5	4,6/6,0	6,0/16,4	3,6/2,8	5,3/5,7	2,2/2,0	79,4/96,1	107,2/137,2
	40-60	0,39/0,38	0,51/1,08	2,6/2,9	1,4/1,5	5,6/4,2	4,0/7,1	3,2/2,2	2,6/1,9	2,2/2,0	79,3/92,2	101,4/115,2

\*\* , \* , <sup>o</sup> , <sup>ns</sup> = Significativo a 1,0, 5,0, 10% e não-significativo, respectivamente.

Dentre as formas consideradas como prontamente disponíveis (P-bicarbonato) e as de disponibilidade restrita (P-NaOH e P-ultra-sônico), a contribuição das formas orgânicas é maior do que a das inorgânicas. Observou-se, também, que o comportamento das formas orgânicas foi mais sensível para o diagnóstico de alterações de formas de P no solo como variável de seu uso. Comparando-se as formas de Po entre as áreas de floresta nativa e de eucalipto, constata-se que, além de menor quantidade de formas orgânicas, a proporção de formas mais lábeis de Po também é menor na área de eucalipto (Quadros 8 e 9). Entretanto, quando comparado à condição de pastagem, observam-se tendências de incremento tanto na quantidade como na qualidade do Po nas áreas com eucalipto.

Um índice utilizado para estimar quanto do P-lábil do solo estaria sendo controlado por processos biológicos é:  $(Po \text{ bicarbonato}) / (Po + Pi \text{ bicarbonato} + P \text{ resina})$  (Cross & Schlesinger, 1995). Nas situações estudadas, a importância dos processos biológicos decresceu com a profundidade no perfil e apresentou variações marcantes entre os locais estudados. Nas camadas mais superficiais, esse indicador sugere que entre 60 e 80% do P-lábil do solo estaria, de alguma forma, sendo controlado por processos biológicos. Esta forma de controle apresenta maior importância nas áreas de eucalipto, quando comparadas às áreas de pastagem, e nas áreas de floresta nativa, quando comparadas às áreas de eucalipto.

Considerando os teores médios na camada de 0 a 60 cm de profundidade, os teores de Po na fração bicarbonato seriam três vezes maiores nas regiões de Ferros, Guanhães e Virginópolis (regiões mais produtivas), comparados aos teores encontrados nas regiões de Belo Oriente e de Santa Bárbara (regiões menos produtivas). No caso da fração Po-hidróxido, esta diferença entre essas mesmas regiões é de aproximadamente duas vezes. Essas diferenças entre regiões não foram observadas nas formas de Pi nem nas determinações de P-Mehlich-1 (Figura 1).

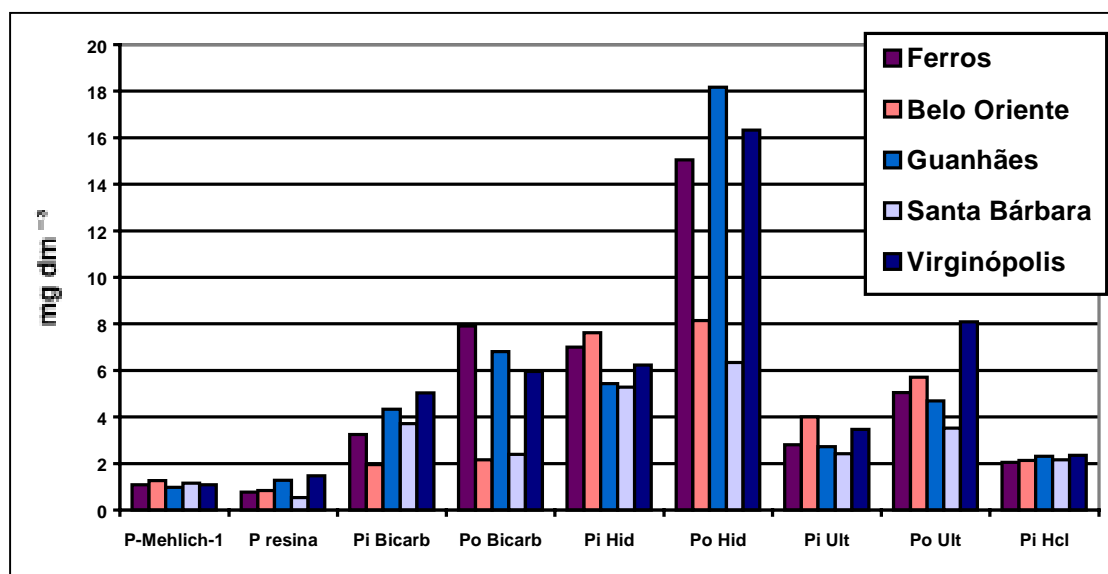


Figura 1. Teores de diferentes frações de P na camada de 0 a 60 cm de profundidade, em cinco regiões do Vale do Rio Doce-MG.

## CONCLUSÕES

1. O cultivo do eucalipto, do modo em que foi manejado, levou a alterações de algumas características químicas dos solos, indicando redução na concentração de alguns nutrientes, independentemente da situação de uso anterior considerada como referencial, pastagem ou floresta nativa. As diferenças foram maiores quando comparados solos com eucalipto em relação a solos com pastagem.

2. O diagnóstico das alterações de formas menos disponíveis de K, Ca e Mg, extraídas com  $\text{HNO}_3$ , foi semelhante ao realizado avaliando-se formas trocáveis desses elementos.

3. Formas orgânicas de P foram mais sensíveis em diferenciar efeitos do uso, de local e de potencial produtivo dos solos que as inorgânicas.



4. O P-Mehlich-1 mostrou-se sensível às quantidades de P adicionadas ao sistema via fertilizantes. Entretanto, não foi útil no diagnóstico de alterações ocorridas nas formas orgânicas e inorgânicas de disponibilidade restrita e lábeis.

5. Para a preservação e melhoria de características químicas dos solos cultivados com eucalipto, o controle dos fluxos de nutrientes nesses ambientes, por meio principalmente da fertilização e do manejo de resíduos, terá que ser diferente daquele adotado nos ciclos anteriores.

## LITERATURA CITADA

- ALFREDSSON, H.; CONDRON, L.M.; CLARHOLM, M. & DAVIS, M.R. Changes in soil acidity and organic matter following the establishment of conifers on former grassland in New Zeland. *For. Ecol. Manag.*, 112:233-244, 1998.
- AMARAL, G. Influência de características químicas e físicas de cinco diferentes solos da zona metalúrgica mineira na produtividade de eucalipto. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 109p. (Tese de Mestrado)
- ARAÚJO, M.S.B.; SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Efeito de fertilizações fosfatadas anuais em solo cultivado com cana-de-açúcar. I. Intensidade e formas de acumulação. *R. Bras. Ci. Solo*, 17:389-396, 1993a.
- ARAÚJO, M.S.B.; SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Efeito de fertilizações fosfatadas anuais em solo cultivado com cana-de-açúcar. II. Formas disponíveis e efeito residual do P acumulado. *R. Bras. Ci. Solo*, 17:397-403, 1993b.
- BECK, M.A. & SANCHEZ, P.A. Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a Typic Paleudult. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 34:1424-1431, 1994.

- CARVALHO, M.C.S.; SILVA, M.A.G.; TORMENA, C.A. & GONÇALVES, J.L.M. Atividade microbiana de um latossolo Vermelho Escuro álico sob eucalipto e mata nativa. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 1997. Rio de Janeiro. Resumos. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. p.91.
- CONDRON, L.M.; MOIR, J.O.; TIESSEN, H. & STEWART, J.W.B. Critical evaluation of methods for determining total organic phosphorus in tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:1261-1266, 1990.
- COSTA, L.M.; MORAIS, E.J.; RIBEIRO, A.C. & FONSECA, S. Cargas elétricas de um latossolo vermelho-amarelo com diferentes coberturas florestais. *R. Ceres*, 31:177:351-359, 1984.
- CROSS, A.F. & SCHLESINGER, W.H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma*, 64:197-214, 1995.
- DIAS JUNIOR, M.S. Compactação do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.55-94.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento de Solos, 1979. não paginado.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Algumas considerações sobre gramíneas e leguminosas forrageiras. Coronel Pacheco, EMBRAPA/CNPGL, 1983, 59p.
- FONSECA, S.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; COSTA, L.M.; LEAL, P.L. & NEVES, J.C.L. Alterações em um Latossolo sob eucalipto, mata natural e pastagem. I. Propriedades físicas e químicas. *R. Árvore*, 17:3:271-288, 1993.
- GASPARINI, J.L.G. Dinâmica do potássio em alguns solos da região do Alto Paraíba, estado de São Paulo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1994. 74p. (Tese de Mestrado)
- GAMA-RODRIGUES, E.F. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo e da serapilheira de povoamentos de eucalipto. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1997. 108p. (Tese de Doutorado)

- GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; SANTOS, G.A & FERNANDES, M.S. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. *Pesq. Agropec. Bras.*, 31:291-299, 1996.
- HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B. & CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:970-976, 1982.
- HERBERT, M.A. & ROBERTSON, M.A. Above-ground biomass composition and nutrient content for *Eucalytus* species in the Southeastern Transvaal. In: SCHÖNAL, A.P.G., ed. SYMPOSIUM ON INTENSIVE FORESTRY: the role of eucalypts, Pretoria. Symposium. Pretoria, Southern African Institute of Forestry, 1991. p.662-674.
- HERBERT, M.A. Fertilizers and eucalypt plantations in South Africa. In: ATTIWILL, P.M. & ADAMS, M.A., eds. Nutrition of eucalypts. Collingwood, CSIRO Publishing, 1996. p.303-326.
- JANSEN, D.H. Tropical agroecosystems. *Sci.*, 182:1212-1219, 1973.
- KHANNA, P.H. & ULRICH, B. Soil characteristics influencing nutrient supply in forest soil. In: BOWEN, G.D & NAMBIAR, E.K.S., eds. Nutrition of plantation forests. London, Academic Press, 1984. p.79-118.
- LANA, M.C. & NEVES, J.C.L. Capacidade de suprimento de potássio em solos sob reflorestamento com eucalipto do estado de São Paulo. *R. Árvore*, 18:2:115-122, 1994.
- LANYON, L.E. & HEALD, W.R. Magnesium, calcium, strontium and barium. In: PAGE, A., ed. Methods of soil analysis. Parte 2: Chemical and microbiological properties. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.247-262.
- LIRA FILHO, J.A.; ARRIEL, E.F. & SOUTO, J.S. Impactos em solos de floresta plantada decorrentes da colheita e transporte de madeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. Resumos. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.1942-1944.
- MACHADO, M.I.C.S.; BRAUNER, J.L. & VIANNA, A.C.T. Formas de fósforo na camada arável de solos do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 17:331-336, 1993.

- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London, Academic Press, 1995. 889p.
- McCOLL, J.G. & POWERS, R.F. Consequences of forest management on soil-tree relationships. In: BOWEN, G.D. & NAMBIAR, E.K.S., eds. Nutrition of plantation forests. London, Academic Press, 1984. p.379-412.
- MELO, V.F.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M.; NOVAIS, R.F. & FONTES, M.P.F. Formas de potássio e de magnésio em solos do Rio Grande do Sul, e sua relação com o conteúdo na planta e com a produção em plantios de eucalipto. R. Bras.Ci. Solo, 19:165-171, 1995
- MILLER, H.G. Dynamics of nutrient cycling in plantation ecosystems. In: ALDOUS, J. R., ed. Wood for energy: The implications for harvesting, utilization and marketing. Edinburgh, Institute of Chartered Foresters, 1984. p.137-146.
- NAMBIAR, E.K.S. Sustaining productivity of forests as a continuing challenge to soil science. Soil Sci. Soc. Am. J., 60:1629-1642, 1996.
- NOVAIS, R.F. & BARROS, N.F. Sustainable agriculture and forestry production systems on acid soil: Phosphorus as a case-study. In: MONIZ, A.C., ed. Plant-soil interactions at low pH. Campinas, Brazilian Soil Science Society, 1997. p.39-51.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- O'CONNELL, A.M., & SANKARAN, K.V. Organic matter accretion, decomposition and mineralisation. In: NAMBIAR, E.K.S. & BROWN, A.G., eds. Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests. Canberra, CSIRO Publishing, 1997. p.443-471.
- PEREIRA, J.S.; TOMÉ, M., MADEIRA, M.; OLIVEIRA, A.C.; TOMÉ, J. & ALMEIDA, M.H. Eucalypts plantations in Portugal. In: ATTIWILL, P.M. & ADAMS, M.A., eds. Nutrition of eucalypts. Collingwood, CSIRO, 1996. p.371-388.
- RESENDE, M. & SANTANA, D.P. Uso das relações  $K_i$  e  $K_r$  na estimativa da mineralogia para classificação dos Latossolos. In: Reunião de classificação, correlação de solos e interpretação de aptidão agrícola, 3., Rio de Janeiro, 1988. Anais. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1988. p.225-232.

- RHOADES, C. & BINKLEY, D. Factors influencing decline in soil pH in Hawaiian *Eucalyptus* and *Albizia* plantations. For. Ecol. Manag., 80:47-56, 1996.
- SANCHEZ, P.A. & UEHARA, G. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C. & KAMPRATH, E.J., eds. The role of phosphorus in agriculture. Madison, American Society of Agronomy, 1980. p.471-514.
- SANTOS, A.R.; FONTES, M.P.F.; ALVAREZ V., H.V; RESENDE, M.; KER, J.C. & COSTA, L.M. Caracterização mineralógica, potencial de reserva e sustentabilidade agrícola de alguns sítios florestais de eucalipto da região do Vale do Rio Doce (MG). R. Bras. Ci. Solo, 22:255-266, 1998.
- TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. & COLE, C.V. Pathway transformations in soils of differing pedogenesis. Soil Sci. Soc. Am. J., 48:853-858, 1984.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Ministério de Agricultura, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7)

## **APÊNDICE**

## APÊNDICE A

Quadro 1A. Análise de variância dos valores de concentração de nutrientes nos componentes da parte aérea e de valores de relações entre conteúdo de nutrientes nas folhas, nos troncos e na parte aérea mais serapilheira de plantas de eucalipto cultivadas em diferentes densidades populacionais e avaliados em três épocas distintas (2,5, 4,5 e 6,75 anos)

Fonte de variação	GL	Quadrado médio														
		Folha					Casca					Galho				
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Bloco	2	0,021 <sup>ns</sup>	0,000057 <sup>ns</sup>	0,0025 <sup>ns</sup>	0,004 <sup>ns</sup>	0,00059 <sup>ns</sup>	0,0011 <sup>ns</sup>	0,0006 <sup>o</sup>	0,011 <sup>ns</sup>	0,0043 <sup>ns</sup>	0,0038 <sup>ns</sup>	0,0052 <sup>ns</sup>	0,00010 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	0,006 <sup>ns</sup>	0,00035 <sup>ns</sup>
DP	6	0,051 <sup>ns</sup>	0,000091 <sup>ns</sup>	0,053*	0,015 <sup>ns</sup>	0,00060 <sup>ns</sup>	0,0066*	0,000055 <sup>ns</sup>	0,124**	0,075 <sup>ns</sup>	0,0020 <sup>ns</sup>	0,0087 <sup>ns</sup>	0,00019 <sup>ns</sup>	0,038**	0,024 <sup>ns</sup>	0,0025**
Resíduo (a)	12	0,026	0,000112	0,014	0,014	0,00082	0,0020	0,00022	0,024	0,076	0,0021	0,0061	0,00015	0,0066	0,023	0,00046
Idade	2	0,212*	0,000104 <sup>ns</sup>	1,649**	0,082**	0,0010 <sup>ns</sup>	0,0033 <sup>ns</sup>	0,00061 <sup>ns</sup>	1,848**	1,677**	0,0052*	0,182**	0,00040*	1,692**	0,028 <sup>ns</sup>	0,0040 <sup>ns</sup>
DP * idade	12	0,040 <sup>ns</sup>	0,000032 <sup>ns</sup>	0,013	0,015 <sup>ns</sup>	0,0011 <sup>ns</sup>	0,0007 <sup>ns</sup>	0,000092 <sup>ns</sup>	0,016 <sup>ns</sup>	0,140*	0,0006 <sup>ns</sup>	0,0061 <sup>ns</sup>	0,000076 <sup>ns</sup>	0,024 <sup>ns</sup>	0,040 <sup>ns</sup>	0,0017 <sup>ns</sup>
Resíduo	28	0,049	0,000114	0,012	0,009	0,0012	0,0026	0,00028	0,019	0,065	0,0016	0,0067	0,00012	0,018	0,029	0,0017
C.V. (%)		11,0	10,0	10,3	19,0	18,2	15,8	38,1	16,2	29,0	24,0	20,0	26,0	23,2	47,3	56,3

Continua...

Quadro 1A, Cont.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio									
		Lenho					Serapilheira				
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Bloco	2	0,0003 <sup>ns</sup>	0,000002 <sup>ns</sup>	0,00029 <sup>ns</sup>	0,00017 <sup>ns</sup>	0,000025 <sup>o</sup>	0,0042 <sup>ns</sup>	0,00003 <sup>ns</sup>	0,0064 <sup>o</sup>	0,143 <sup>**</sup>	0,0027 <sup>**</sup>
DP	6	0,0005 <sup>ns</sup>	0,000003 <sup>ns</sup>	0,00067 <sup>*</sup>	0,00044 <sup>ns</sup>	0,000019 <sup>*</sup>	0,0063 <sup>ns</sup>	0,000043 <sup>*</sup>	0,00022 <sup>ns</sup>	0,060 <sup>*</sup>	0,00022 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	12	0,00044	0,0000017	0,00021	0,00040	0,000006	0,011	0,000012	0,0017	0,016	0,00013
Idade	2	0,013 <sup>**</sup>	0,0002 <sup>**</sup>	0,026 <sup>**</sup>	0,024 <sup>**</sup>	0,00077 <sup>**</sup>	0,0014 <sup>ns</sup>	0,00022 <sup>**</sup>	0,092 <sup>**</sup>	3,947 <sup>**</sup>	0,081 <sup>**</sup>
DP * idade	12	0,0007 <sup>ns</sup>	0,000002 <sup>ns</sup>	0,00016 <sup>ns</sup>	0,00026 <sup>ns</sup>	0,00001 <sup>ns</sup>	0,024 <sup>**</sup>	0,000060 <sup>*</sup>	0,0012 <sup>ns</sup>	0,012 <sup>ns</sup>	0,00042 <sup>ns</sup>
Resíduo	28	0,00050	0,0000028	0,00043	0,00029	0,000013	0,0082	0,000025	0,0018	0,033	0,00062
C.V. (%)		24,8	24,0	18,8	28,4	34,8	11,1	16,3	24,0	21,2	17,1

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio									
		Folha									
		Ca/P	Ca/K	Ca/Mg	Ca/N	K/P	K/Mg	K/N	N/P	N/Mg	Mg/P
Bloco	2	0,025 <sup>ns</sup>	0,0011 <sup>ns</sup>	0,023 <sup>ns</sup>	0,00063 <sup>ns</sup>	0,278 <sup>ns</sup>	1,218 <sup>ns</sup>	0,00013 <sup>ns</sup>	0,804 <sup>ns</sup>	3,283 <sup>ns</sup>	0,031 <sup>ns</sup>
DP	6	1,174 <sup>ns</sup>	0,027 <sup>ns</sup>	0,362 <sup>ns</sup>	0,0049 <sup>ns</sup>	2,277 <sup>ns</sup>	0,994 <sup>ns</sup>	0,0090 <sup>o</sup>	2,390 <sup>ns</sup>	3,536 <sup>o</sup>	0,057 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	12	1,154	0,015	0,308	0,0038	2,217	0,479	0,0033	3,195	1,382	0,075
Idade	2	5,260 <sup>*</sup>	0,807 <sup>**</sup>	2,156 <sup>**</sup>	0,038 <sup>**</sup>	150,726 <sup>**</sup>	66,629 <sup>**</sup>	0,263 <sup>**</sup>	23,919 <sup>**</sup>	23,222 <sup>*</sup>	0,116 <sup>ns</sup>
DP * idade	12	1,879 <sup>ns</sup>	0,048 <sup>**</sup>	0,226 <sup>ns</sup>	0,0063 <sup>ns</sup>	0,900 <sup>ns</sup>	2,530 <sup>ns</sup>	0,0067 <sup>ns</sup>	4,211 <sup>o</sup>	5,588 <sup>ns</sup>	0,138 <sup>ns</sup>
Resíduo	28	1,064	0,0089	0,258	0,0039	2,734	1,329	0,0074	2,151	5,153	0,107
C.V. (%)		22,0	18,7	18,9	24,7	16,5	19,5	16,2	7,8	20,6	18,6

Continua...



Quadro 1A, Cont.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio									
		Tronco									
		Ca/P	Ca/K	Ca/Mg	Ca/N	K/P	K/Mg	K/N	N/P	N/Mg	Mg/P
Bloco	2	24,747 <sup>ns</sup>	0,010 <sup>ns</sup>	1,211 <sup>ns</sup>	0,312 <sup>ns</sup>	7,352 <sup>ns</sup>	1,773 <sup>ns</sup>	0,064 <sup>ns</sup>	4,999 <sup>ns</sup>	2,224 <sup>ns</sup>	0,986 <sup>ns</sup>
DP	6	10,304 <sup>ns</sup>	0,103 <sup>o</sup>	1,913 <sup>ns</sup>	0,787 <sup>ns</sup>	12,923 <sup>ns</sup>	8,074 <sup>ns</sup>	0,110 <sup>ns</sup>	11,740 <sup>ns</sup>	3,802 <sup>ns</sup>	0,726 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	12	24,271	0,040	0,929	0,391	14,646	5,879	0,054	11,811	1,768	0,699
Idade	2	208,142 <sup>**</sup>	2,422 <sup>**</sup>	22,097 <sup>**</sup>	18,488 <sup>**</sup>	562,727 <sup>**</sup>	89,089 <sup>**</sup>	4,282 <sup>**</sup>	489,551 <sup>**</sup>	88,312 <sup>**</sup>	0,251 <sup>ns</sup>
DP * idade	12	14,716 <sup>ns</sup>	0,073 <sup>ns</sup>	2,518 <sup>o</sup>	0,778 <sup>o</sup>	11,766 <sup>ns</sup>	0,852 <sup>ns</sup>	0,158 <sup>ns</sup>	10,980 <sup>ns</sup>	1,916 <sup>ns</sup>	0,239 <sup>ns</sup>
Resíduo	28	22,024	0,045	1,389	0,413	21,907	2,998	0,131	15,669	2,999	0,606
C.V. (%)		33,4	25,8	21,2	42,2	25,5	23,0	20,9	34,0	35,9	30,2
		Parte aérea mais serapilheira									
		Ca/P	Ca/K	Ca/Mg	Ca/N	K/P	K/Mg	K/N	N/P	N/Mg	Mg/P
Bloco	2	10,121 <sup>ns</sup>	0,014 <sup>ns</sup>	0,105 <sup>ns</sup>	0,072 <sup>**</sup>	0,826 <sup>ns</sup>	0,245 <sup>ns</sup>	0,025 <sup>o</sup>	10,524 <sup>o</sup>	3,894 <sup>**</sup>	0,345 <sup>ns</sup>
DP	6	5,571 <sup>ns</sup>	0,162 <sup>*</sup>	0,633 <sup>ns</sup>	0,034 <sup>*</sup>	3,734 <sup>*</sup>	1,379 <sup>o</sup>	0,042 <sup>**</sup>	8,488 <sup>o</sup>	0,651 <sup>ns</sup>	0,153 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	12	3,696	0,039	0,307	0,0072	3,065	0,523	0,0083	3,340	0,522	0,158
Idade	2	129,833 <sup>**</sup>	3,817 <sup>**</sup>	10,990 <sup>**</sup>	1,719 <sup>**</sup>	308,80 <sup>**</sup>	42,304 <sup>**</sup>	0,712 <sup>**</sup>	208,223 <sup>**</sup>	44,566 <sup>**</sup>	0,365 <sup>ns</sup>
DP * idade	12	4,917 <sup>ns</sup>	0,077 <sup>*</sup>	0,813 <sup>ns</sup>	0,042 <sup>ns</sup>	2,640 <sup>ns</sup>	0,138 <sup>ns</sup>	0,014 <sup>ns</sup>	5,269 <sup>ns</sup>	0,845 <sup>ns</sup>	0,082 <sup>ns</sup>
Resíduo	28	9,201	0,034	0,462	0,034	4,775	0,343	0,014	6,456	1,597	0,268
C.V. (%)		22,1	16,1	13,3	21,2	17,0	12,0	14,9	15,4	19,9	19,3

\*\* , \* , <sup>o</sup> e <sup>ns</sup> = Significativo a 1,0, 5,0, 10,0% e não-significativo, respectivamente.

Quadro 2A. Análise de variância dos valores de concentração de nutrientes no solo sob plantio de eucalipto cultivado em sete diferentes densidades populacionais, obtidos em três épocas do ciclo da cultura (2,5, 4,5 e 6,75 anos)

Fonte de variação	GL	Quadrado médio							
		pH	Mo	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al
-----0-5 cm-----									
Bloco	2	0,249**	0,076 <sup>ns</sup>	0,145 <sup>ns</sup>	61,044 <sup>ns</sup>	0,064*	0,012**	0,042 <sup>ns</sup>	0,755 <sup>ns</sup>
DP	6	0,0071 <sup>ns</sup>	0,079 <sup>ns</sup>	0,420*	77,506 <sup>ns</sup>	0,012 <sup>ns</sup>	0,0013 <sup>ns</sup>	0,114 <sup>o</sup>	0,829 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	12	0,015	0,070	0,119	34,354	0,0094	0,00086	0,045	0,777
Idade	2	0,968**	4,584**	3,550**	1567,356**	0,033 <sup>ns</sup>	0,0045 <sup>ns</sup>	0,161*	13,667**
DP * idade	12	0,0094 <sup>ns</sup>	0,018 <sup>ns</sup>	0,187 <sup>o</sup>	93,356 <sup>ns</sup>	0,0054 <sup>ns</sup>	0,00073 <sup>ns</sup>	0,043 <sup>ns</sup>	0,570 <sup>ns</sup>
Resíduo	28	0,022	0,080	0,091	56,757	0,028	0,0026	0,046	0,650
C.V. (%)		3,2	11,5	21,8	30,9	105,0	58,1	14,6	6,9
-----0-10 cm-----									
Bloco	2	0,168*	0,012 <sup>ns</sup>	0,478**	51,147 <sup>ns</sup>	0,075*	0,00076 <sup>ns</sup>	0,0075 <sup>ns</sup>	0,904 <sup>ns</sup>
DP	6	0,015 <sup>ns</sup>	0,102 <sup>ns</sup>	0,210**	33,460 <sup>ns</sup>	0,023 <sup>ns</sup>	0,00038 <sup>ns</sup>	0,056 <sup>ns</sup>	1,329 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	12	0,026	0,078	0,051	30,625	0,015	0,00039	0,037	0,832
Idade	2	0,978**	3,784**	2,989**	1245,744**	0,054 <sup>ns</sup>	0,0027 <sup>o</sup>	0,179*	9,313**
DP * idade	12	0,0078 <sup>ns</sup>	0,045 <sup>ns</sup>	0,083 <sup>ns</sup>	13,734 <sup>ns</sup>	0,014 <sup>ns</sup>	0,00036 <sup>ns</sup>	0,021 <sup>ns</sup>	1,054 <sup>ns</sup>
Resíduo	28	0,032	0,052	0,144	32,454	0,034	0,0010	0,040	0,936
C.V. (%)		3,9	10,0	29,5	29,6	167,3	53,1	13,2	13,9

\*\* , \* , <sup>o</sup> e <sup>ns</sup> = Significativo a 1,0, 5,0, 10,0% e não-significativo, respectivamente.